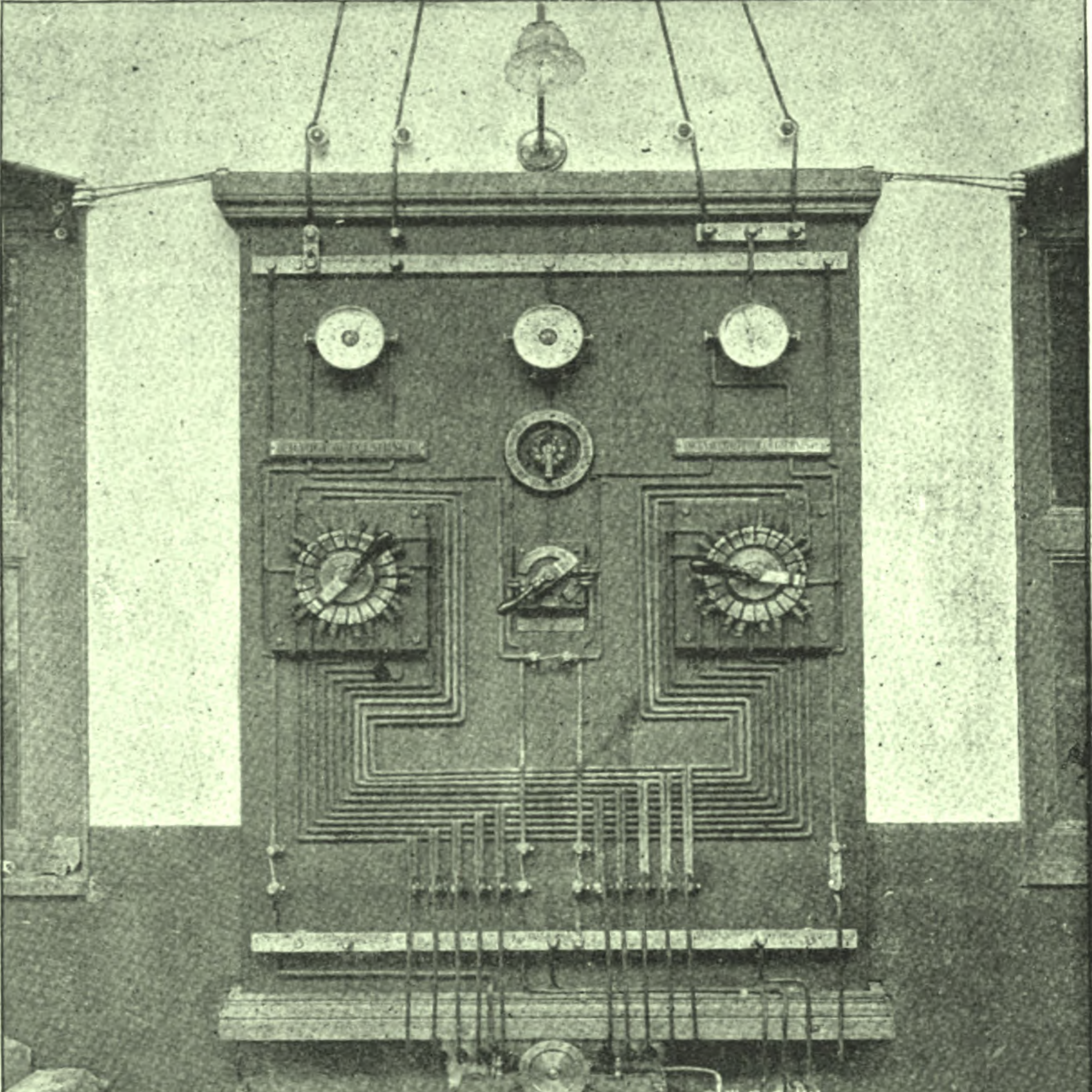
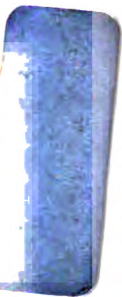




L'Éclairage électrique




Dei
Sub Numine
Viget

L'Éclairage Électrique

REVUE HEBDOMADAIRE D'ÉLECTRICITÉ

L'Éclairage Électrique

REVUE HEBDOMADAIRE D'ÉLECTRICITÉ

Directeur scientifique : J. BLONDIN

Secrétaire de la rédaction : G. PELLISSIER

TOME IV

3e TRIMESTRE 1895

PARIS

GEORGES CARRÉ, ÉDITEUR

3, RUE RACINE, 3

Tome IV. Samedi 6 Juillet 1895. 2e Année. — N° 27.

L'Éclairage Électrique

REVUE HEBDOMADAIRE D'ÉLECTRICITÉ

DIRECTEUR SCIENTIFIQUE : J. BLONDIN

SECRÉTAIRE DE LA RÉDACTION : G. PELLISSIER

ÉTUDE DU CHAMP MAGNÉTIQUE D'UN MOTEUR ÉLECTRIQUE A COURANTS DIPHASÉS DU TYPE BROWN, DE CINQ CHEVAUX

Description du moteur. — Le moteur est représenté par deux coupes (fig. 1 et 2) qui indiquent sa construction.

L'induit *a* est en forme de cage d'écureuil, et il possède 32 barres *b* réunies en quantité, traversant périphériquement le cylindre en fer feuilleté (en tôle) de l'armature. L'inducteur *i* est feuilleté également, en forme d'anneau entourant l'induit, et percé de trous oblongs dans lesquels passent les fils de circuit dont six spires remplissent deux ouvertures diamétrales. Les ouvertures 1 à 6 et leurs opposées donnent lieu à un premier circuit ; les ouvertures 1′ à 6′ et leurs opposées donnent lieu au second. Les fils de liaison, en sortant des trous, sont disposés sur les parois de l'inducteur suivant les courbes *m* et *n*. Le reste de la machine se comprend parfaitement par l'examen des figures 1 et 2.

Ce moteur fait partie du matériel de l'École spéciale d'industrie et des mines du Hainaut, à Mons.

RÉLUCTANCE DU CIRCUIT MAGNÉTIQUE. FLUX. PERMÉABILITÉ TOTALE

Nous déterminerons d'abord la réluctance du circuit magnétique pour des flux variés, à l'aide des éléments que l'on trouve dans les

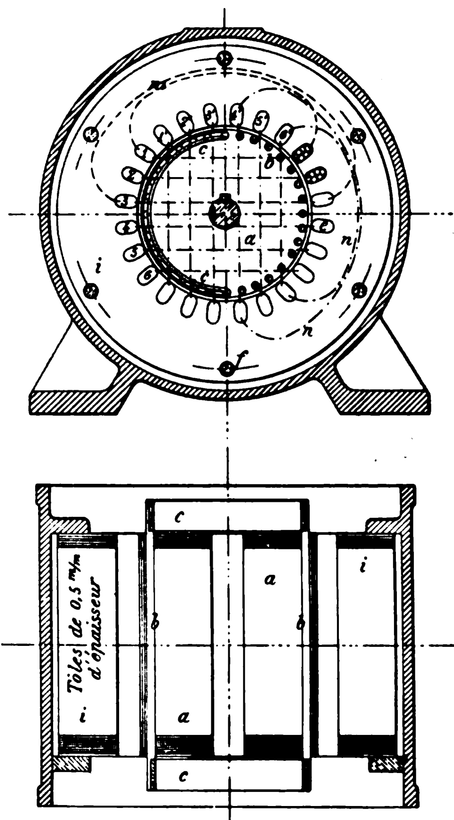


Fig. 1 et 2. — Coupes verticale et horizontale du moteur.

revues d'électricité, et nous tracerons la courbe de ses variations, puis, en nous servant des résultats de levés par la méthode

balistique, nous calculerons la réluctance vraie et nous comparerons les courbes obtenues. Ces diagrammes nous permettront facilement le passage des courbes de réluctance aux courbes de perméabilité totale des parties métalliques.

Réluctance calculée avant les expériences. — Dans un circuit magnétique aussi concentré et à aussi faible entrefer que celui que nous étudions, les dérivations de perte sont faibles à l'extérieur de l'anneau inducteur et nous les négligerons.

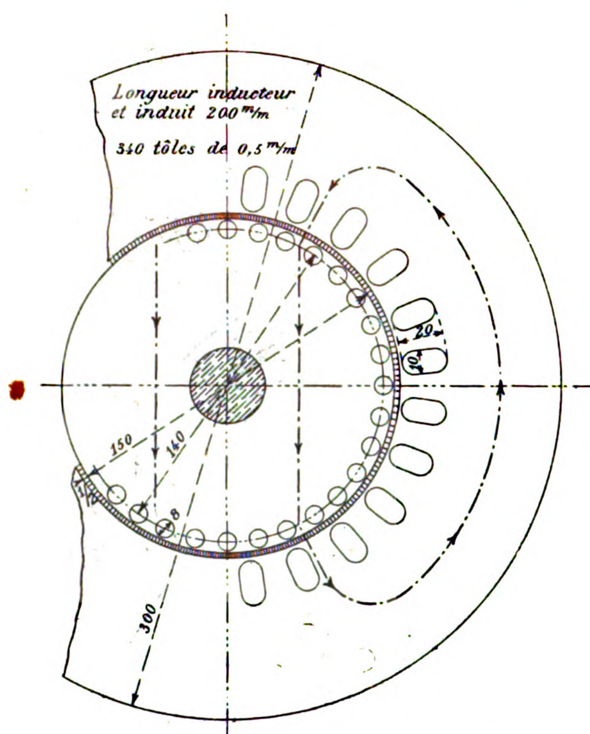


Fig. 3. — Disposition de l'induit et de l'inducteur.

Entrefer. — Les dimensions de l'induit sont indiquées à la figure 3. L'entrefer est de 0,5 mm. d'après le plan de construction. Nous avons voulu nous assurer si cette dimension, très importante, était observée, et nous avons procédé à une mensuration qui nous a permis d'établir que l'entrefer est variable le long d'une génératrice, et qu'il est en moyenne de 0,53 mm.

Si nous admettons que les lignes de force sont rayonnantes dans l'entrefer, ce qui doit être parce que ce dernier est très faible et que le circuit magnétique du flux tournant est symétrique par rapport à l'axe, la réluctance s'obtient très facilement par le quotient $\frac{2l_e}{2s_e}$. l_e est l'épaisseur de l'entrefer et s_e est sensiblement le quart de la surface cylindrique de l'induit.

Si la f. m. m. pouvait être considérée comme étant constante en tous les points de la section du flux de force et exprimée sous la forme $4\pi mi$, le flux serait facile à calculer, et la réluctance de l'entrefer à faire intervenir dans les formules serait bien $\frac{2l_e}{2s_e}$.

Or, la f. m. m. est variable le long de l'entrefer, et on comprend que si les deux circuits inducteurs sont excités, la composition des f. m. m. des spires successives donne une fonction sinusoïdale. Nous verrons plus loin que l'expérience nous a montré que le champ dans l'entrefer varie à peu près sinusoïdalement. Par conséquent, si nous connaissons la f. m. m. disponible en chacun des points de l'entrefer, nous obtiendrons le flux par la relation :

$$\Phi = \int \frac{df}{dr}.$$

f représentant la f. m. m. et r la réluctance.

Nous préférons nous servir de la f. m. m. maxima créée dans la masse de l'induit, considérée comme constante et exprimée sous la forme $4\pi mi$. Il est donc nécessaire de déterminer quel est l'entrefer qui, soumis à la f. m. m. maxima, donnerait même flux que l'entrefer réel excité par une f. m. m. sinusoïdale.

Si la f. m. m. en b, suivant le diamètre bc (fig. 4), est $4\pi ki$, nous pouvons admettre qu'au point a, suivant la corde ad, elle est :

$$4\pi ki \sin \alpha.$$

Si R est le rayon de l'induit, e l'épaisseur de l'entrefer et l la longueur de l'induit, la réluctance de l'entrefer au point a est exprimée par la relation :

$$dr = \frac{e}{l\mathrm{R}\, d\alpha},$$

et le flux par :

$$d\Phi = \frac{4\pi ki \sin \alpha}{\dfrac{e}{lR\, d\alpha}} = \frac{4\pi kilR \sin \alpha\, d\alpha}{e}.$$

Quant au flux total, pour un angle variant de o à 90°, il est :

$$\Phi = \int_0^{\frac{\pi}{2}} \frac{4\pi kilR}{e} \sin \alpha\, d\alpha = 4\pi ki \frac{lR}{e} = \frac{4\pi ki}{\dfrac{e}{lR}}.$$

Ce résultat nous indique que nous pouvons considérer un entrefer fictif dont la surface est lR, projection de la surface réelle $l\frac{\pi R}{2}$ sur un diamètre.

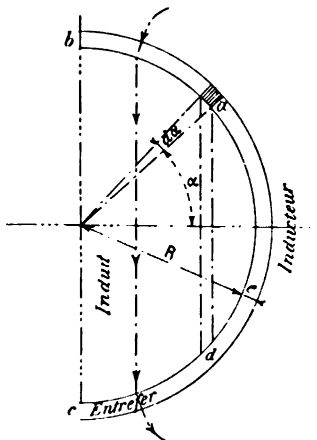


Fig. 4. — Établissement de la réluctance de l'entrefer.

Pour tenir compte de ce que la variation du flux dans l'entrefer n'est pas tout à fait sinusoïdale, nous pouvons opérer autrement. Dans le cas de variation sinusoïdale, la f. m. m. moyenne est :

$$4\pi ki \times \frac{\pi}{2}$$

et le flux

$$\Phi = \frac{4\pi ki \times \frac{2}{\pi}}{\dfrac{e}{\frac{\pi R}{2} l}} = \frac{4\pi ki}{\dfrac{e}{\frac{\pi R}{2} l \times \frac{\pi}{2}}} = \frac{4\pi ki}{\dfrac{e}{l.R}}.$$

On arrive au même résultat que ci-dessus, mais les calculs ont cet avantage de montrer qu'il faut réduire la surface réelle de l'entrefer dans le rapport de la f. m. m. moyenne à la f. m. m. maxima ou encore du champ moyen dans l'entrefer au champ maximum.

Nous verrons que si le champ dans l'entrefer est sensiblement sinusoïdal lorsque les deux circuits inducteurs induisent, il n'en est plus tout à fait ainsi lorsqu'un seul de ces circuits est parcouru par un courant : le rapport $\frac{2}{\pi}$ ou 0,637 devient alors 0,78. Nous adopterons dans nos calculs 0,71 comme rapport moyen. La réluctance totale de l'entrefer, pour l'induit entier, est ainsi :

$$r_e = \frac{2e}{\pi Rl.0{,}71} = \frac{0{,}073 \times 2}{3{,}14 \times 7{,}5 \times 20 \times 0{,}71} = 0{,}000317.$$

Armature. — Nous considérerons d'abord la partie intérieure cylindrique, comprise entre

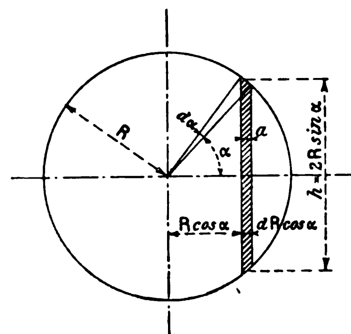


Fig. 5. — Établissement de la réluctance de l'armature.

les barres induites, et qui a 13,2 cm. de diamètre. Sa longueur est constituée par 340 tôles de 0,5 mm. ; elle est donc de 17 cm.

Supposons que le flux est uniforme dans la masse et considérons (fig. 5) un élément d'épaisseur a, de hauteur h et de longueur l. $h = 2R \sin \alpha$, $a = d.R \cos \alpha$, $l = 17$ cm.

La réluctance élémentaire $d.r_a'$ est :

$$d.r_a' = \frac{2R \sin \alpha}{\mu_a' l (d.R \cos \alpha)} = \frac{2R \sin \alpha}{\mu_a' l.R \sin \alpha d\alpha} = \frac{2}{\mu_a' l d\alpha},$$

et la réluctance totale :

$$r_a' = \int_0^{\pi} \frac{2}{\mu_a' l} \times \frac{1}{d\alpha} = \frac{2}{\mu_a' l \pi}.$$

En remplaçant les lettres par leurs valeurs on trouve :

$$r_a' = \frac{2}{\mu_a' \times 17 \times 3{,}14} = \frac{0{,}0375}{\mu_a'}$$

Considérons maintenant la partie suivante

de l'anneau, constituée par les épaisseurs de fer comprises entre les barres induites. Ses diamètres sont 14,8 et 13,2 cm., sa longueur 17 cm. La distance entre deux barres est de $\frac{14 \times 3{,}14}{32} = 1{,}375$ cm. et la largeur moyenne d'un trou pour barre d'armature

$$0{,}8 \times \frac{2}{\pi} = 0{,}51 \text{ cm.},$$

ce qui réduit à 1,375 — 0,51 = 0,865 cm. l'épaisseur métallique entre les barres. Nous supposerons que l'induction spécifique y est variable et que la réluctance fictive peut être évaluée en comptant sur un développement égal à $\pi R \times 0{,}71$, comme pour l'entrefer. Ce développement correspond à 12 barres, c'est-à-dire à une épaisseur métallique de

$$12 \times 0{,}865 = 10{,}38 \text{ cm.}$$

La réluctance de cette partie de l'armature est donc

$$r_a'' = \frac{1{,}6}{\mu_a'' \times 17 \times 10{,}38} = \frac{0{,}0091}{\mu_a''}.$$

Il reste maintenant une épaisseur régulière de fer doux de 1 mm. à la périphérie de l'armature et dont le développement fictif est

$$3{,}14 \times \frac{14{,}9}{2} \times 0{,}71 = 16{,}55 \text{cm.}$$

Sa réluctance s'établit facilement :

$$r_a''' = \frac{0{,}2}{\mu_a''' \times 17 \times 16{,}55} = \frac{0{,}000713}{\mu_a'''}.$$

Anneau inducteur. — A la périphérie interne de cet anneau se trouve également une épaisseur régulière de fer doux de 1 mm., donnant pour réluctance :

$$r_i' = r_a''' = \frac{0{,}000713}{\mu_i'}.$$

Ensuite, viennent les épaisseurs comprises entre les fils inducteurs. Ces épaisseurs sont au nombre de 9 en comptant toujours 0,71 comme rapport de la section fictive du flux à la section réelle. Elles ont une hauteur de 2 cm. et une épaisseur moyenne de 1,3 cm. Mais cette épaisseur n'est pas toujours utilisée par le flux utile, car il se forme évidemment autour des alvéoles pour fils inducteurs des flux locaux qui ont une très forte densité sur une épaisseur de 1 mm., puisque, sur cette épaisseur, le circuit local est entièrement fermé par du fer doux. Ces flux locaux existent pour 3 alvéoles sur 9 lorsqu'un seul des circuits induits et pour 9 lorsque les deux circuits inducteurs sont parcourus par des courants. Le développement total métallique varie donc de

$$6 \times 1{,}3 + 3 \times 1{,}1 = 11{,}1 \text{ cm.}$$

à

$$9 \times 1{,}1 = 9{,}9.$$

Nous en prendrons la moyenne, soit 10,5 cm. Nous trouvons ainsi pour réluctance :

$$r_i'' = \frac{4}{\mu_i \times 10{,}5 \times 17} = \frac{0{,}0225}{\mu_i''}.$$

Il reste maintenant à considérer la réluctance des deux circuits dérivés qui forment le retour des lignes de force en dehors des fils inducteurs. Leur longueur moyenne mesurée sur un tracé en grandeur naturelle est de 29,5 cm. ; leur épaisseur totale est de

$$5{,}2 \times 2 = 10{,}4 \text{ cm.},$$

et leur largeur de 17 cm. Leur réluctance combinée est donc :

$$r_i'' = \frac{29{,}5}{\mu'''_i \times 10{,}4 \times 17} = \frac{0{,}167}{\mu_i'''}.$$

Calcul des réluctances pour des flux différents. — Les sections des différentes parties du circuit sont donc :

$$s_e = 329 \text{ cm}^2;\ s_a' = 2Rl = 13{,}2 \times 17 = 224 \text{ cm}^2;$$
$$s_a'' = 176 \text{ cm}^2;\ s_a''' \ 280 \text{ cm}^2;\ s_i' = 280 \text{ cm}^2;$$
$$s_i'' = 177 \text{ cm}^2;\ s_i''' = 177 \text{ cm}^2.$$

En adoptant pour le fer les perméabilités fournies par une courbe moyenne tracée d'après les résultats des expériences de Hopkinson, de Rowland et de Bidwel, nous calculons le tableau suivant qui donne la réluctance correspondant à chaque flux supposé dans l'induit. Il donne aussi la f. m. m. $\Sigma\Phi r$ et la perméabilité totale ou plutôt un nombre proportionnel à cette perméabilité et obtenu en

TABLEAU I.

Φ	$\mathcal{H}_e$	$\mathcal{B}_a'$	$\mathcal{B}_a''$	$\mathcal{B}_a'''$	$\mathcal{B}_i'$	$\mathcal{B}_i''$	$\mathcal{B}_i'''$	μ_a'	μ_a''	μ_a'''	μ_i'	μ_i''	μ_i'''	r_e	r_a'	r_a''	r_a'''	r_i'	r_i''	r_i'''	Σr	$\Sigma \Phi r$	$\Sigma r - r_e$	$\frac{1}{\Sigma r - r_e}$	OBSERVATION.
														$\times 10^{-4}$	$\times 10^{-4}$	$\times 10^{-4}$	$\times 10^{-4}$	$\times 10^{-4}$	$\times 10^{-4}$	$\times 10^{-4}$	$\times 10^{-4}$		$\times 10^{-4}$	$\times 10^{3}$	Les calculs sont exécutés à la règle.
0	0	0	0	0	0	0	0	500	500	500	500	500	500	3,170	0,750	0,181	0,014	0,014	0,452	3,350	7,931	0	4,761	2,100	
100 000	303	446	568	358	358	565	565	730	790	690	690	790	790	3,170	0,514	0,115	0,010	0,010	0,285	2,120	6,224	62,24	3,054	3,28	
250 000	760	1 112	1 420	892	892	1 410	1 410	1 060	1 215	1 000	1 000	1 215	1 215	3,170	0,354	0,075	0,007	0,007	0,185	1,380	5,180	129,2	2,010	4,985	
500 000	1 517	2 230	2 830	1 785	1 785	2 820	2 820	1 600	1 845	1 400	1 400	1 845	1 845	3,170	0,234	0,049	0,005	0,005	0,122	0,910	4,495	247,0	1,225	7,56	
750 000	2 280	3 340	4 260	2 680	2 680	4 230	4 230	2 010	2 260	1 780	1 780	2 260	2 260	3,170	0,187	0,040	0,004	0,004	0,100	0,740	4,245	318,0	1,075	9,91	
1 000 000	3 035	4 460	5 680	3 580	3 580	5 650	5 650	2 290	2 376	2 080	2 080	2 376	2 373	3,170	0,164	0,038	0,0034	0,0034	0,095	0,703	4,174	417,4	1,004	10,00	
1 250 000	3 800	5 570	7 120	4 465	4 465	7 060	7 060	2 376	2 315	2 290	2 290	2 315	2 315	3,170	0,158	0,039	0,003	0,003	0,098	0,723	4,194	525,0	1,024	9,78	
1 500 000	4 560	6 700	8 520	5 000	5 000	8 470	8 470	2 350	2 130	2 356	2 356	2 130	2 135	3,170	0,160	0,043	0,003	0,003	0,106	0,782	4,267	640,0	1,097	9,12	
1 750 000	5 320	7 800	9 940	6 260	6 260	9 870	9 870	2 240	1 840	2 365	2 365	1 855	1 855	3,170	0,167	0,049	0,003	0,003	0,121	0,900	4,413	773,0	1,243	8,05	
2 000 000	6 070	8 920	11 380	7 180	7 130	11 300	11 300	2 055	1 500	2 310	2 310	1 520	1 520	8,170	0,182	0,061	0,003	0,003	0,148	1,100	4,667	935,0	1,497	6,68	
2 250 000	6 830	10 050	12 800	8 020	8 020	12 700	12 700	1 825	1 157	2 200	2 200	1 180	1 180	8,170	0,206	0,079	0,0032	0,003	0,191	1,410	5,062	1136,0	1,892	5,29	
2 500 000	7 600	11 150	14 220	8 920	8 920	14 100	14 100	1 560	815	2 055	2 055	840	840	3,170	0,240	0,112	0,0034	0,0034	0,268	1,990	5,786	1445,0	2,616	3,83	
2 750 000	8 350	12 260	15 620	6 820	9 820	15 500	15 500	1 290	490	1 870	1 870	500	500	3,170	0,292	0,186	0,0037	0,0037	0,452	3,350	7,458	2050,0	4,288	2,32	
3 000 000	9 110	13 380	17 050	10 700	10 700	16 930	16 930	1 020	190	1 657	1 657	206	206	3,170	0,368	0,480	0,0042	0,0042	1,090	8,130	13,246	3970,0	10,076	1,00	

calculant l'inverse de la réluctance de la partie métallique du circuit magnétique.

Vérification expérimentale. — Nous avons excité le champ par un seul des circuits inducteurs avec des courants variés et, par la

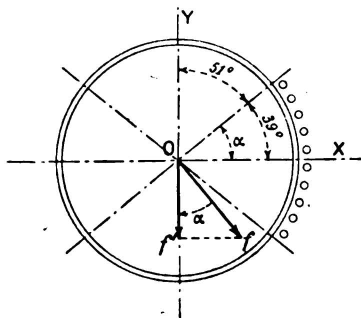


Fig. 6. — Composition des f. m. m. d'un circuit inducteur.

méthode balistique, nous avons mesuré la variation de flux pour chaque courant en procédant par inversion du flux.

Evaluons d'abord la f. m. m. due à un courant i circulant dans le fil inducteur.

Si m est le nombre de spires par cadre inducteur et i le courant, la f. m. m. serait $4\pi mi$ si toutes les spires étaient parallèles. Comme elles forment entre elles et avec l'axe OX (fig. 6) des angles variables, leur action dans l'axe OY du flux est seulement $f' = f \cos \alpha$ et leur action moyenne, en les supposant uniformément réparties à la périphérie est :

$$\frac{1}{\frac{\pi}{2} \times \frac{39}{90}} f \int_0^{39^\circ} \cos \alpha \, d\alpha = f \frac{\sin 39^\circ}{\frac{\pi}{2} \times \frac{39}{90}}$$

$$= f \frac{0{,}629}{0{,}68} = 0{,}925 \, f.$$

La f. m. m. réelle est donc

$$\mathfrak{F} = 0.925 \; 4\pi mi,$$

m étant égal à 36, la relation simplifiée devient :

$$\mathfrak{F} = 418 \; i.$$

Les valeurs de i ont été déterminées par un ampèremètre, et les flux correspondants ont été établis au moyen des élongations du galvanomètre balistique étalonné pour la mesure des flux. Les résultats obtenus ont été consignés dans le tableau II.

Tableau II

i	$\mathfrak{F}$	Φ	$r = \frac{\mathfrak{F}}{\Phi}$	i	$\mathfrak{F}$	Φ	$r = \frac{\mathfrak{F}}{\Phi}$
ampères	C. G. S.		$\times 10^{-4}$				
2,6	108,5	140 500	7,72	30,7	1280	2 220 000	5,77 $\times 10^{-4}$
3,9	163	261 000	6,26	35,6	1490	2 345 000	6,36
5,2	217	410 000	5,3	40,6	1700	2 450 000	6,93
7,4	308	637 500	4,84	54,0	2260	2 660 000	8,5
10,2	419	1 015 000	4,13	64,75	2700	2 815 000	9,6
15,8	661	1 590 000	4,165	70	2920	2 875 000	10,18
24	1003	1 957 000	5,02	80	3340	3 005 000	11,15

Ces résultats et ceux des calculs précédents sont traduits graphiquement aux diagrammes de la figure 7. Les courbes pleines ont rapport aux données du calcul établi à l'aide des courbes de perméabilité précitées, et les courbes pointillées résument les données de nos expériences.

On voit que les courbes de réluctances coïncident vers les points de grande perméabilité et qu'elles diffèrent en deçà et au delà. Les courbes de perméabilité correspondantes ont été calculées en partant des précédentes en faisant, pour chaque ordonnée comptée à partir de la réluctance de l'entrefer, le quotient de 1 par cette ordonnée. Ce sont donc, plus exactement, des nombres proportionnels à ces perméabilités que l'on obtient ainsi. La courbe pleine a bien l'allure des courbes de perméabilité du fer doux déterminées par Hopkinson et Rowland tandis que la courbe pointillée (expérimentale) a la forme de celles trouvées par Steinmetz.

Les différences entre les courbes obtenues ne sortent pas d'ailleurs des limites de celles

qui existent entre les résultats des expériences des plus savants opérateurs, expériences de cabinet faites dans des conditions toutes particulières, bien plus favorables à l'exactitude que nos opérations de laboratoire des machines.

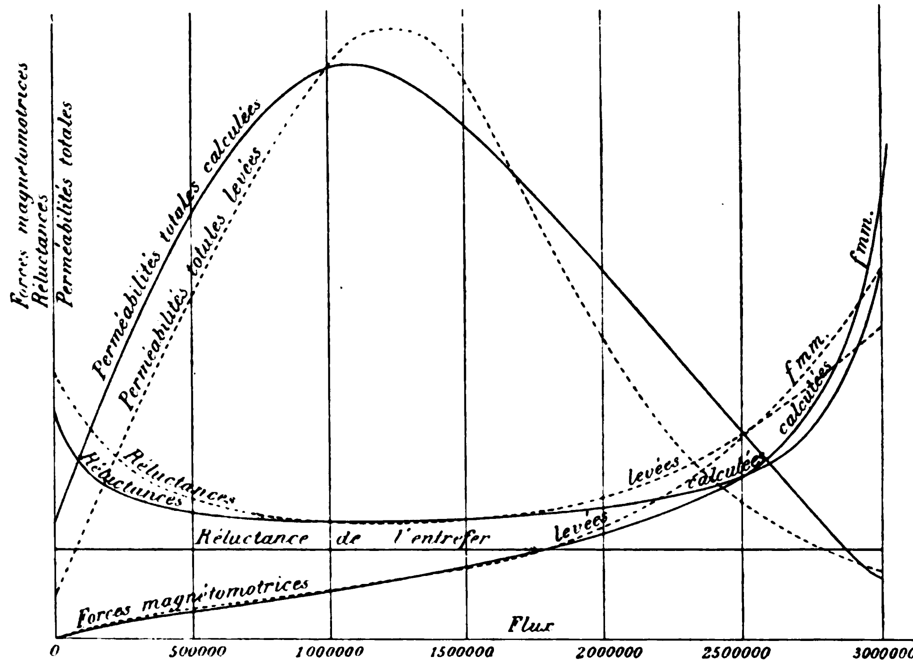


Fig. 7. — Courbes des réluctances, des forces magnétomotrices et des perméabilités totales.

PERTES DE FLUX

Pour différentes excitations, nous avons déterminé le flux total produit sur la hauteur h'

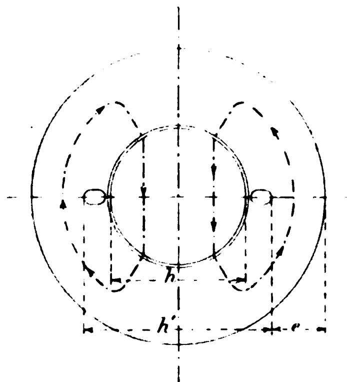


Fig. 8. — Trajectoire du flux.

de l'induit et de l'inducteur et le flux qui passe dans l'induit, sur la hauteur h (fig. 8). La différence donne le flux qui passe à côté de l'induit, dans les dents en fer qui séparent les spires inductrices. Les résultats sont indiqués ci-dessous.

Excitation en ampères	80 A	70	64,75	54	40,6	24
Flux qui passe à côté de l'induit, en o/o du flux total produit. .	2,55 o/o	2,6	2,65	2,0	3,15	3,9

Quant au flux qui passe dans l'épaisseur e, et qui devrait être le retour de la moitié du flux total, il est un peu inférieur à cette moitié. La différence donne la dérivation par l'air environnant. Cette dérivation est donnée ci-dessous en pour cent du flux total développé.

Excitation.	54 A.	40,6 A	24 A
Dérivation de flux.	2,45 o/o	2,43 o/o	1,28 o/o

Comme on le voit, à circuit induit ouvert, les dérivations de flux sont insignifiantes.

CHAMP MAGNÉTIQUE DANS L'ENTREFER

Quand on excite le champ par un courant continu circulant dans un des circuits du moteur, le circuit 1, 2, 3, 4, 5 et 6 par exemple, qu'on entoure l'armature d'une spire de fil fin reliée à un galvanomètre balistique, qu'on fait tourner l'induit d'angles égaux en renversant chaque fois le courant inducteur, on obtient au galvanomètre des élongations qui, portées en ordonnées sur l'axe AC de la figure 9, donnent la courbe AFBFC.

Cette courbe s'approche de la sinusoïde ADBDC. La courbe des flux dans la spire se rapproche encore plus de la sinusoïde et devient AEBEC si, considérant que les f.m.m. se composent comme les forces en mécanique, on envoie dans les deux circuits des courants

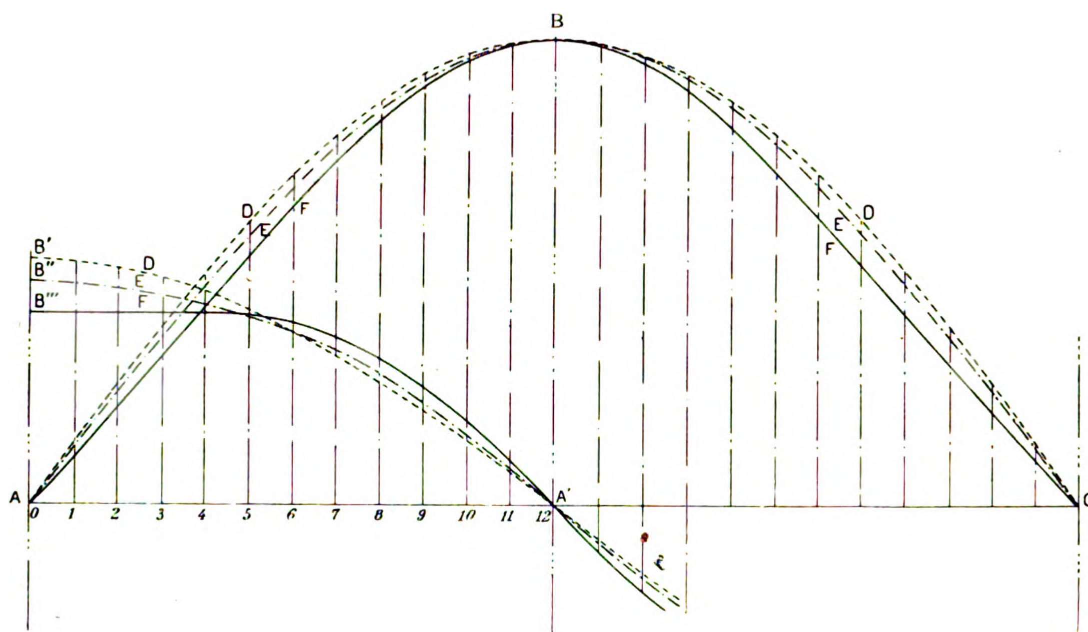


Fig. 9. — Champ magnétique dans l'entrefer. Courbes des f.é.m. dans l'induit.

égaux à 0,707 du courant primitif, la f.m.m. résultante étant alors proportionnelle à :

$$\sqrt{(0,707)^2 + (0,707)^2} = \sqrt{1} = 1.$$

Les courbes des variations de flux dans la spire seront évidemment les dérivées des courbes précédentes ; elles seront de même allure que celles des forces électromotrices induites et elles donneront les valeurs du champ dans l'entrefer. En déterminant, par le tracé des courbes intégrales, les dérivées des courbes des flux, on obtient :

1° La sinusoïde B'DA' correspondant à ADBDC ;

2° La courbe B''EA' pour le cas où le champ est produit par les deux circuits ;

3° La courbe B'''FA' dans le cas où le champ est obtenu avec un seul circuit inducteur.

Si on porte les ordonnées de ces courbes à la périphérie de l'induit (fig. 10), on obtient les courbes portant les mêmes lettres que ces dernières. La courbe en trait plein B'''FA' montre que, dans le cas de l'excitation par un seul circuit, le champ dans l'entrefer est sensiblement constant en dehors des spires inductrices *aa'*, *bb'*, *cc'*..., c'est-à-dire jusqu'à la division 5, et qu'il décroît moins que sinusoïdalement vis-à-vis de ces spires. L'allure plus sinusoïdale de la courbe B''EA' tient évidemment à la distribution plus uniforme de la f.m.m. inductrice à la périphérie de l'armature,

distribution qui ramène à un plan la région de maximum de champ.

VALEUR DU FLUX DE FORCE TOURNANT. SES VARIATIONS.

Nous portons radialement en I, II, III, IV, V et VI (fig. 10, à gauche), quelques valeurs proportionnelles et déterminées expérimentalement, du champ ou plutôt du flux tournant. Les valeurs V et VI sont faciles à obtenir. Nous les avons observées au moyen de la spire indiquée ci-dessus, en excitant par l'un et par l'autre circuit du moteur, alternativement, et en renversant le sens du courant excitateur. Les élongations au balistique étaient les mêmes dans les deux cas.

Nous avons aussi opéré par simple interruption du courant excitateur I, comme pour les valeurs I, II, III et IV, mais en ayant soin d'établir et de rompre plusieurs fois le courant avant la mesure. Cette façon d'opérer est nécessaire si on ne veut pas que la rémanence empêche la comparaison des résultats.

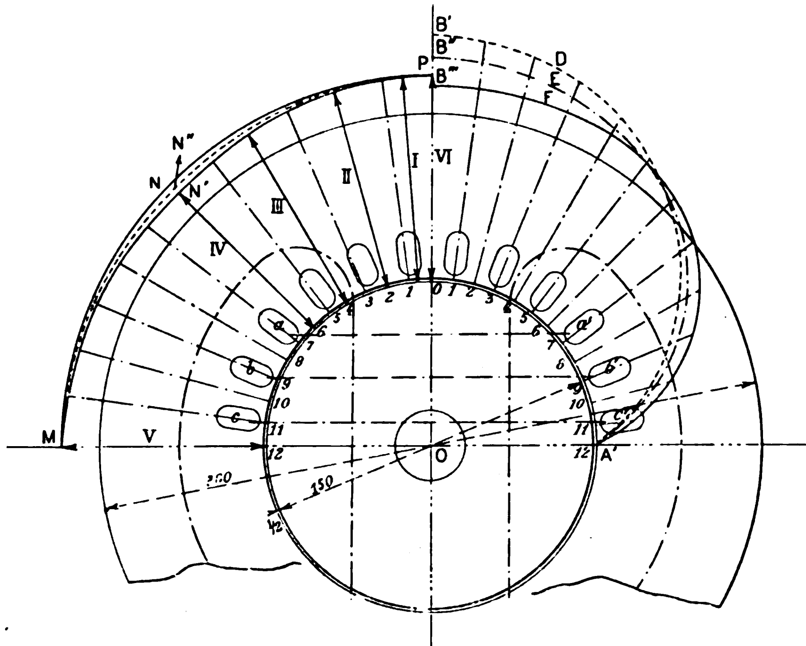


Fig. 10. — Valeur du flux de force tournant. Ses variations. Courbes des f.é.m. dans l'induit.

Considérant ensuite des angles α variés, en partant des axes, nous avons excité par les deux circuits en y envoyant, pour chaque valeur de α, des courants I sin α pour l'un des circuits, I cos α pour l'autre et nous avons opéré par interruption en recherchant chaque fois la position de maximum de flux pour la spire.

Si le champ était constant, la courbe du flux qui est bien celle du flux tournant sans réaction d'induit, puisque les f.m.m. sont proportionnelles à sin α et à cos α, serait la circonférence MNP. Nous avons trouvé en réalité une courbe MN' P, un peu différente, par suite de l'existence en dehors des axes où sin $\alpha = 0$ et cos $\alpha = 1$, d'une f.m.m. plus uniformément régulière qui, si elle ramène le maximum de champ au plan d'axe en y concentrant plus de lignes de force (voir AEBEC, fig. 9), augmente aussi les pertes et diminue la f.m.m. effective et le flux total.

Nous pouvons évaluer la différence maxima NN' en supposant qu'elle ne provienne pas un peu de ce que, pendant les dernières mesures (III et IV), les circuits s'échauffaient et les courants diminuaient.

V et VI.	Excitation de	50,5		A;	flux, à raison de 2 138 000 pour 116,7 mm. d'élongation :		1 360 000 C. G. S.
II.	—	de 49	et 14	A;	—	—	1 344 000
III.	—	de 44	et 37	A;	—	—	1 298 000
IV.	—	de 35,7	et 35,7	A;	—	—	1 260 000

La plus forte diminution de flux, en IV, est de 100 000 unités sur 1 360 600, soit 7,3 p. 100.

En procédant par inversion nous avions trouvé pour les valeurs VI et IV, lors du levé des courbes de la figure 9, 1 540 000 et 1 500 000 C.G.S. C'était une différence de 2,7 p. 100, indiquée en NN″, figure 10.

Ce nombre, 2,7 p. 100, nous ne le garantissons pas parce que les points VI et IV n'ont pas été levés le même jour. Nous faisons aussi remarquer que les mesures obtenues par une simple interruption ou établissement du courant sont plus ou moins sujettes à de faibles erreurs par suite des effets du magnétisme rémanent.

Le point important était de vérifier si la composition des f.m.m. pouvait s'effectuer sensiblement comme celle des forces. Nous venons de voir que cela peut se faire en pratique.

Au reste, la différence moyenne de $\frac{7,3 + 2,7}{2} = 5$ p. 100 peut s'expliquer par les considérations suivantes. Pour trouver le point N′ de la courbe du flux tournant, nous avons envoyé dans les deux circuits inducteurs des courants $i \sin 45° = i \times 0,707$. La f.m.m. résultante était ainsi

$$4\pi m \sqrt{2i^2 \left(\frac{1}{\sqrt{2}}\right)^2} = 4\pi mi,$$

et le flux IV devait être égal aux flux V et VI.

Mais nous avons trouvé ci-dessus (fig. 6), en intégrant les f.m.m. pour l'angle d'un cadre, qu'avec un seul circuit inducteur produisant les flux V ou VI, la f.m.m. totale réelle est, pour un courant i :

$$\mathfrak{F} = 0,925 \times 4\pi mi.$$

Avec deux circuits inducteurs distribués régulièrement autour de l'induit, la f. m. m. moyenne par spire est, si f est la f. m. m. maxima :

$$\frac{1}{\frac{\pi}{2}} f \int_0^{\frac{\pi}{2}} \cos \alpha d\alpha = f \frac{1}{\frac{\pi}{2}} = 0,637 f.$$

Et la f.m.m. totale pour les deux circuits ($2m$ spires) où le courant $i' = 0,707 i$ devient :

$$\mathfrak{F}' = 4\pi mi' \times 2 \times 0,637 = 0,900 \times 4\pi mi.$$

Cette f.m.m. est donc plus faible que celle qui correspond à un seul circuit inducteur de :

$$\frac{0,925 - 0,900}{0,925} \times 100 = 2,71 \text{ o/o}.$$

Ajoutons que, toutes les spires inductrices agissant, les flux locaux autour des alvéoles, dans la région de maximum de champ, réduisant la section utile, augmentent la réluctance du métal et diminuent le flux produit.

Quelques résultats. — Nous donnons ici quelques chiffres qu'il peut être intéressant de connaître pour les calculs relatifs aux machines à courants alternatifs, lorsque les valeurs en question ne suivent pas la loi sinusoïdale. Nous supposerons qu'il s'agit de f. é. m.

Nous savons que le rapport $\frac{\mathcal{E}_{moy.}}{\mathcal{E}_{eff.}}$ est 0,9 pour les fonctions sinusoïdales et qu'il varie en pratique entre 0,866 et 1.

On trouverait :

Pour la courbe AFBFC (fig. 9) : $\frac{\mathcal{E}_{moy.}}{\mathcal{E}_{eff.}} = 0,875$;

— AEBEC $\frac{\mathcal{E}_{moy.}}{\mathcal{E}_{max.}} = 0,613$;

— AFBFC id. $= 0,586$;

— B″FA′ id. $= 0,78$;

— id. $\frac{\mathcal{E}_{moy.}}{\mathcal{E}_{eff.}} = 0,941$.

(*A suivre.*) S. HANAPPE.

LA SOUDURE ÉLECTRIQUE (1)

Les applications de la soudure électrique continuent à se multiplier, principalement aux États-Unis et en Angleterre, beaucoup plus

(1) *L'Eclairage Electrique*, 22 septembre 1894, p. 56.

que chez nous. En Amérique les deux procédés les plus répandus sont toujours celui du soudage direct par courants de basse tension ou procédé *Thomson Houston*, et le procédé à l'arc de *Coffin* : nous décrivons plus bas les appareils les plus récents de ces deux systèmes. En Angleterre, le procédé à l'arc de *Benardos*, perfectionné et étendu par *Howard*, s'applique assez fréquemment surtout pour les réparations. C'est ainsi que MM. Spencer and C° de Newburn l'emploient pour la réparation des soufflures des moulages d'acier. On fond la cavité de la soufflure, puis on la remplit d'acier fondu. On peut de même réparer les effets de l'usure. Comme exemple, on cite un cylindre de laminoir dont le carrelet, trop usé pour pouvoir être saisi par sa boîte d'accouplement, a été ramené à sa forme primitive en 24 heures par des applications de métal au soudage à l'arc. On peut de même réparer des portées d'arbre usées, souder des bords d'arbres, ou même des cylindres de laminoir en fonte ayant jusqu'à 250 mm. de diamètre, des dents de pignons, etc.

Le procédé à l'arc convient aussi très bien pour la réparation des chaudières : comme exemple M. Foster cite [1] chez M. Spencer le cas d'une chaudière verticale de grue dans laquelle on a bouché un trou de 140 × 90 mm. en y soudant à l'arc une pièce d'acier doux avec 40 mm. de recouvrement. Tout autour, sous la chaleur de l'arc, les bords de cette plaque, fondus sur ceux du trou s'étendaient en lèvres épousant parfaitement la forme de la chaudière. La réparation dura, y compris l'essai à la pression hydraulique, une dizaine d'heures. On a pu de même réparer facilement le bas d'un foyer de locomotive piqué par le feu en remplissant ces piqûres par des gouttelettes d'acier fondu adhérentes à l'acier de la tôle.

Malheureusement, l'installation coûte cher : il faut disposer d'un courant de 500 ampères et 80 volts : soit de 50 chevaux électriques, ou d'environ 70 chevaux indiqués, ce qui est évidemment trop considérable pour une installation isolée, utilisée en somme assez rarement. Il n'en est pas de même si l'on peut disposer de l'électricité d'un secteur ou d'une distribution quelconque, ou encore dans certains cas, comme celui d'un chantier de réparation de navires, où l'application de la soudure à l'arc se rencontre à chaque instant; soudure des arbres d'hélice, des coques, etc.

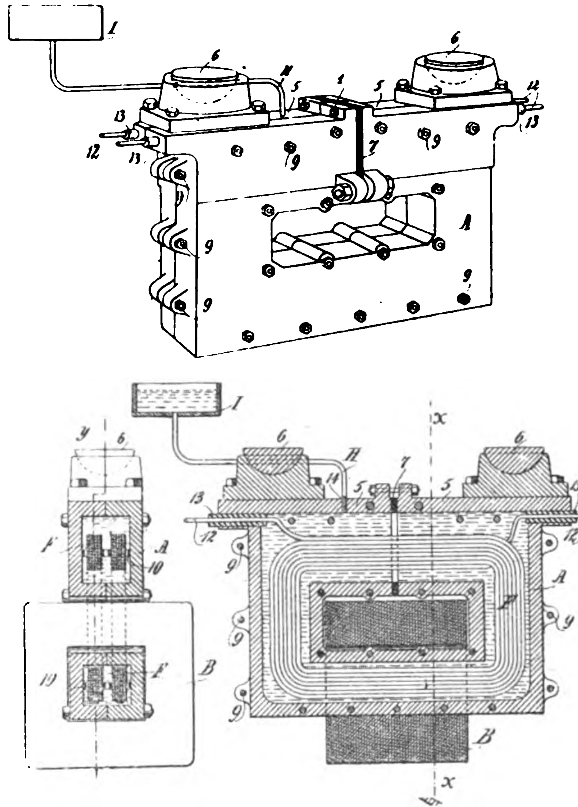


Fig. 1 à 3. — Forge à soudure Thomson. Ensemble et détail du transformateur.

Les principales précautions à prendre sont : de ne pas dépasser une centaine de volts à la dynamo, de prendre la pièce à souder pour pôle positif si elle est en fer ou en acier et pour pôle négatif si elle est en un autre métal : en plomb, par exemple. Les charbons ne doivent pas être cuivrés, et brûler avec le moins de poussière possible. Dans les appli-

[1] Nort East Cast. Institution of Engineers and Shipbuilders, avril 1895. « On the Application of. the Electric Arc to Machine and Boiler Repairs ».

cations de métaux, le métal appliqué doit être de même composition que celui sur lequel on l'applique, et chaque couche débarrassée de

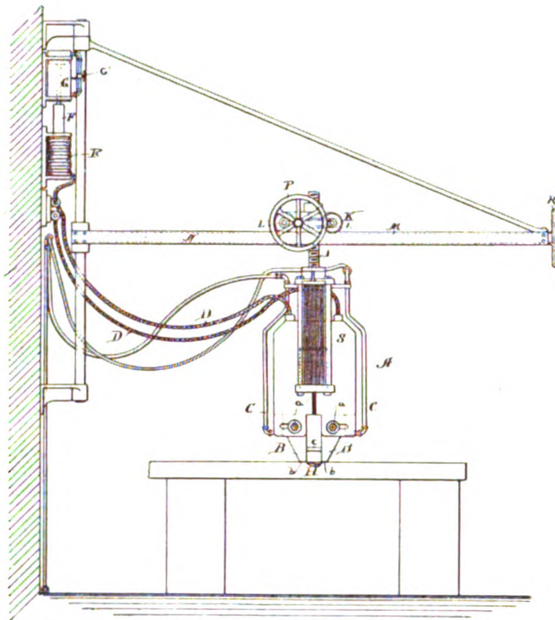


Fig. 4. — Détrempeur Lemp.

scories avant l'application de la couche suivante. Pour la soudure des objets en saillie, comme les dents d'engrenage il faut empêcher la soudure de couler par l'emploi d'une garni-

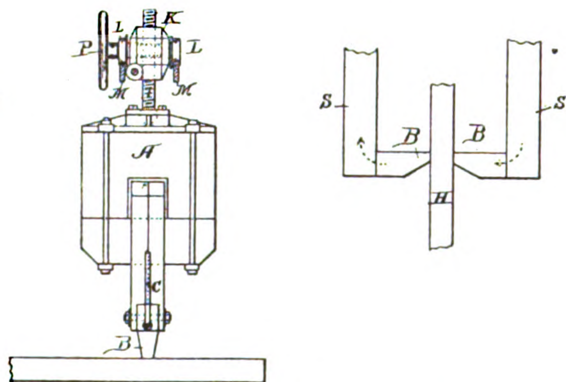


Fig. 5 et 6. — Détrempeur Lemp. Détail des contacts.

ture réfractaire convenablement disposée autour de la dent. Enfin, à mesure que la soudure avance, le métal s'échauffe, sa conductibilité diminue, et il faut tâcher de finir l'opération avec un arc uniforme d'une longueur de 150 mm. environ.

Les figures 1 à 3 représentent, l'un des derniers types de transformateurs adoptées par la *Thomson Electric Welding C°* pour ses forges à souder. Le primaire F, à fils fins isolés à l'amiante, avec entrées étanches 12 13, est

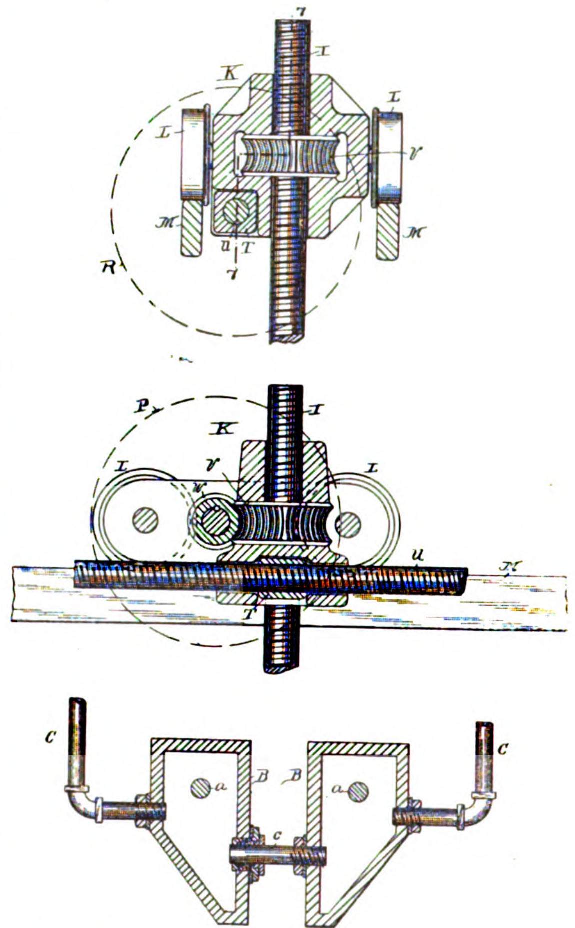


Fig. 7 à 9. — Détrempeur Lemp. Détail de la vis de manœuvre et des pôles.

entièrement enfermé dans le secondaire A, constitué par deux cadres en cuivre boulonnés en 9 avec joint isolant étanche 7, dont l'ensemble forme une caisse remplie d'huile, avec une ouverture médiane pour le passage du noyau lamellaire B. Sur les pôles 5 5, sont montées les bornes 6 6, en forme de demi-sphères en cuivre rodées dans leurs sièges 5 5. L'huile employée doit pouvoir supporter faci-

lement une température de 100°, elle est en communication par H avec un réservoir I, qui en permet la dilatation. On obtient ainsi un transformateur compact, parfaitement abrité, et très énergique, parce que le secondaire A, entourant complètement le primaire F, en coupe le plus possible les lignes de force.

L'appareil de *Lemp* représenté par les figures 4 à 6, a pour objet de détremper les tôles et plaques de blindages aux endroits où il faut les percer pour le passage des boulons d'attache, etc... L'appareil consiste essentiellement en un transformateur A, avec secondaire S terminé par deux pôles en cuivre BB

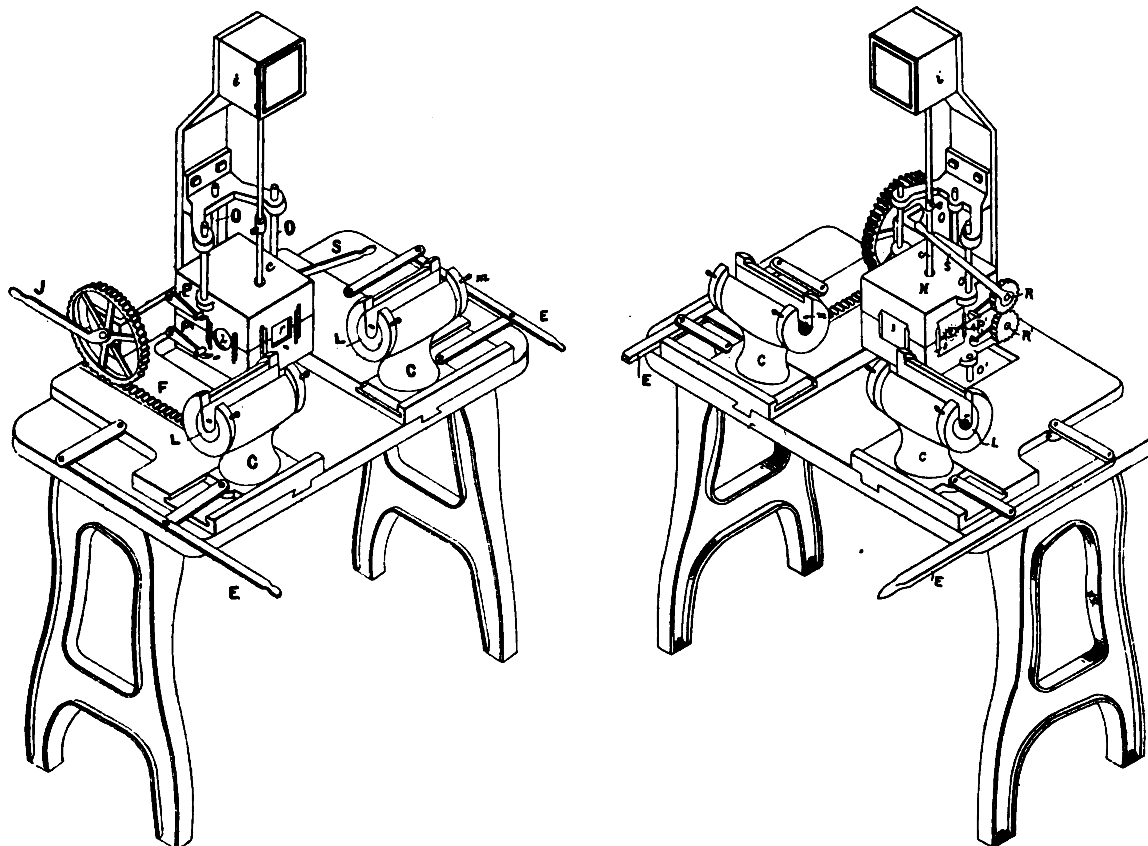


Fig. 10 et 11. — Soudeuse à arc Coffin.

à position réglable par les boulons à coulisses *a*, et à circulation d'eau C*c*C fig. 9. Le tout peut se déplacer au-dessus de la plaque H, sur un bras de grue M : longitudinalement au moyen de la vis *u* (fig. 7 et 8) à manette R et à écrou T, et verticalement au moyen de la vis I (fig. 8) à écrou *v* commandé par la manette C et la vis sans fin *w*.

Les contacts *bb* sont écartés d'environ 25 mm. et ont chacun une section d'environ 650 mm². carrés. On y fait passer le courant jusqu'à ce que le métal entre eux devienne à peine rouge, puis en diminuant graduellement le courant pendant une dizaine de minutes, en laissant le métal se refroidir graduellement jusqu'au-dessous du point critique de trempe, c'est-à-dire, du point où il se tremperait si on l'y refroidissait brusquement. Cette diminution graduelle du courant s'obtient au moyen d'un réacteur E, figure 4, intercalé en série dans le circuit primaire DD, et dont l'armature F descend avec une vitesse réglée automatiquement et par expérience au moyen du dashpot G, à robinet G'.

On doit, pour ne pas détremper le métal au delà de la zone parcourue par l'appareil, ne pas

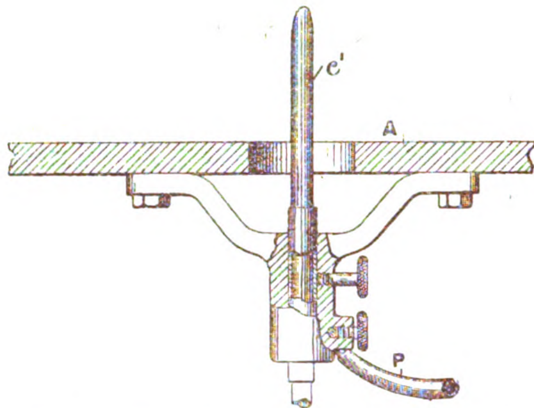


Fig. 12. — Soudeuse Coffin. Détail du charbon fixe c'.

employer un courant trop intense, principalement quand il faut que ce courant traverse la plaque de part en part comme avec la disposition, figure 6. On peut évidemment, avec cet appareil, déterminer sur les plaques trempées, en y promenant les contacts BB, des lignes de recuit permettant de les couper facilement après leur trempe, et sans les détériorer, de sorte que le dispositif de Lemp paraît appelé à rendre, dans ce cas, de réels services.

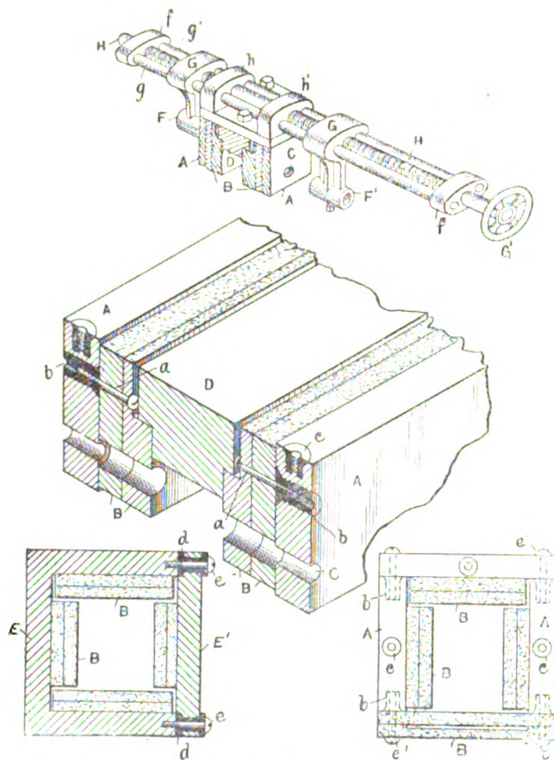


Fig. 13 à 16. — Détail des fours à arc Coffin.

Le fonctionnement de la soudeuse *Coffin* représentée par les figures 10 et 11 est le suivant. Les deux barres à souder, serrées par les vis *m* dans les mâchoires L des supports C, sont

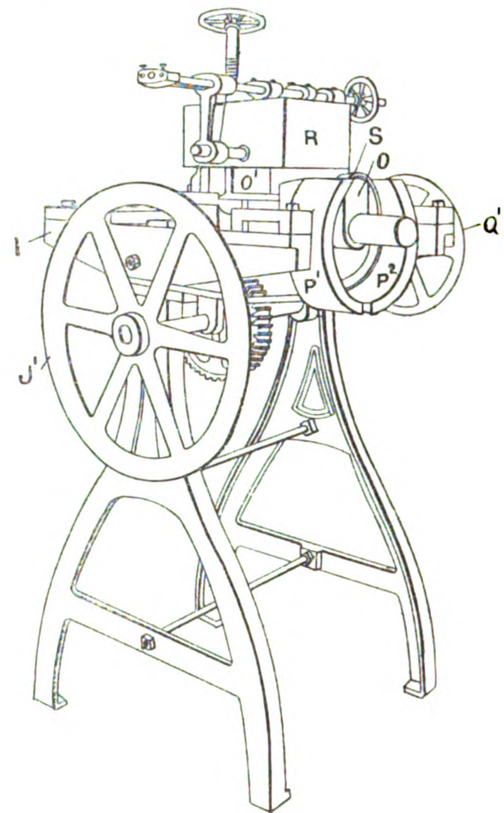
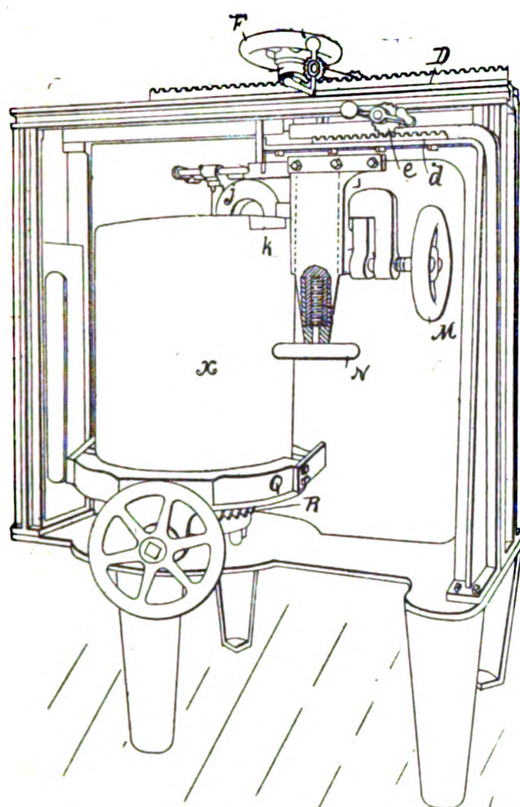


Fig. 17. — Forge à souder les jantes Coffin.

amenées, par le jeu des leviers E E et J en face des ouvertures 2 du four, puis avancées dans ce four, dont on peut d'ailleurs séparer par S R R' P les couvercles guidés en O O'. On fait ensuite jaillir l'arc entre le charbon supérieur *c* à régulateur *i* et le charbon inférieur fixe c', auquel on peut faire arriver un courant de gaz par P (fig. 12). Une fois la soudure portée au blanc, ce que l'on voit par les regards en mica coloré 3, on presse les barres l'une contre l'autre, en les faisant tourner au besoin

devant l'arc, par le pivotement des mâchoires L dans leurs supports C.

Les figures 13 à 16 représentent en détail la manière dont M. Coffin construit ses fours



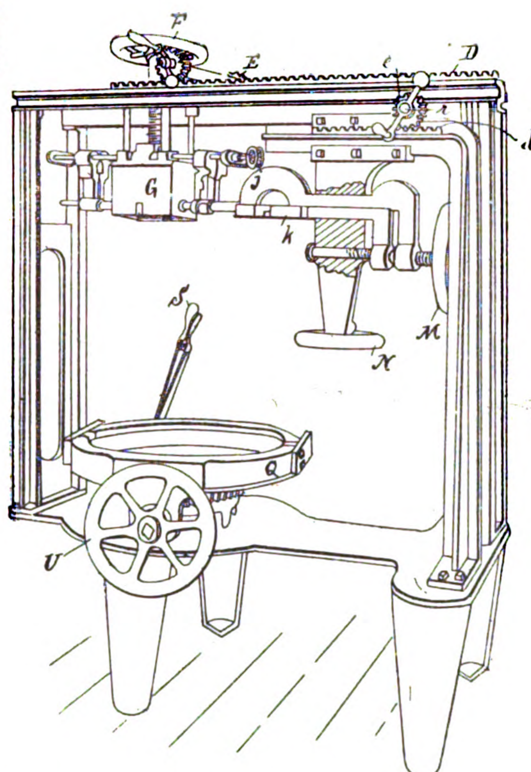


Fig. 18 et 19. — Forge à souder les brides de Coffin.

pour leur assurer une durée la plus longue possible. Les parois extérieures du four sont

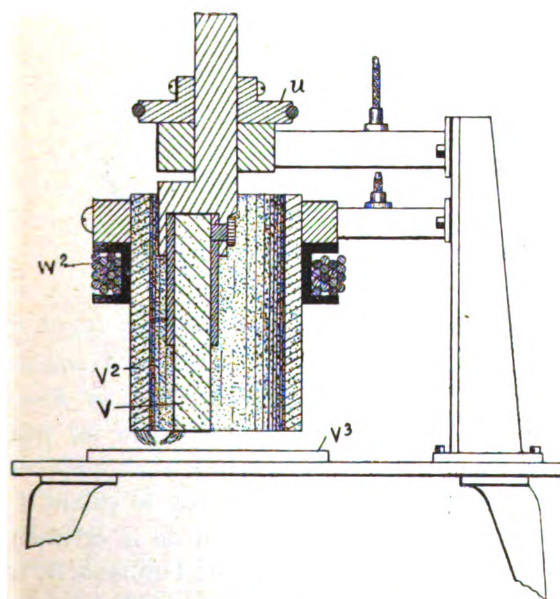


Fig. 20. — Forge à arc circulaire Coffin.

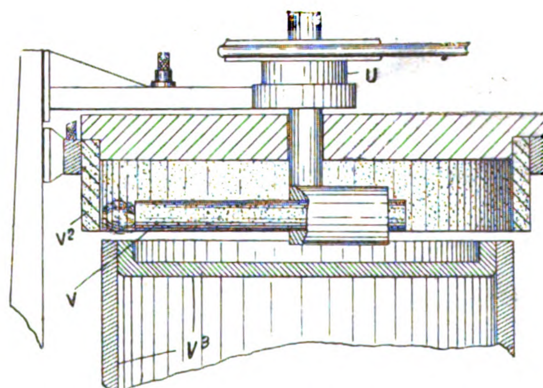


Fig. 21. — Forge Coffin à souder les fonds de cylindre.

constituées par des plaques de talc ou de lave non conductrices A A, et les parois internes

par des doubles plaques de carbone pur ou de briquettes de charbon et d'argile BB, fixées sur A par des boutons *b*, à tête protégée du feu par l'emboîtement de la brique de chaux ou de magnésie D, qui ferme le four.

On peut, comme l'indique la figure 15, remplacer les plaques A par des parois en fer EE', mais en ayant soin d'en isoler les charbons B, ou encore (fig. 16) faire l'une des parois tout en charbon.

Ces fours durent très longtemps sans s'arrêter, mais il faut remplacer les charbons B à peu près tous les mois

Les charbons de l'arc pénètrent dans le four

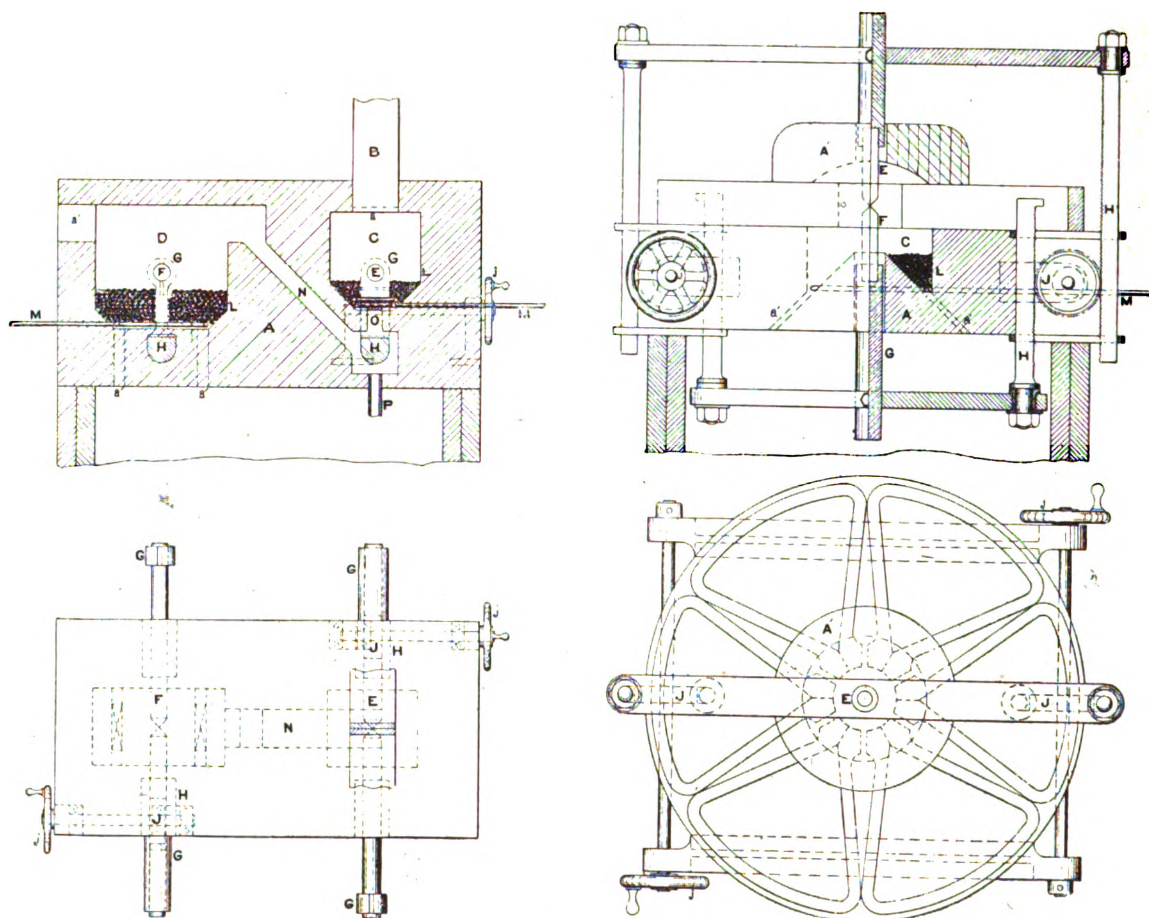


Fig. 22 à 25. — Forge Parkinson à souder les roues de wagons.

par les ouvertures *c*, évasées de manière qu'ils ne touchent pas les plaques B, et ils sont manœuvrés par la manette G', figure 13, à vis de tendeur H, faisant écrou dans leurs pinces-supports isolés GF, à guides *g*. Le filet de droite de H est, d'un pas double de celui de gauche, de manière à maintenir l'arc au milieu du four.

La figure 17 représente l'application d'un de ces foyers à une forge à souder dont le fonctionnement est le suivant. Soit à souder une pièce en forme d'anneau S. Les deux côtés de l'anneau sont serrés entre les mâchoires P_1 P_2 par la manette Q, et rapprochés au-dessus de leur vide ; puis, par le volant J^1, on amène le four R, au moyen de la crémaillère de sa table I, au-dessus de l'anneau, dont les lèvres sont portées au rouge par la chaleur

de l'arc. Ceci fait, on tourne J' en sens contraire, de manière à retirer le fourneau et à amener sous les lèvres de l'anneau l'enclume O, sur laquelle on les soude au marteau.

La machine représentée par les figures 18 et 19 est adaptée spécialement à la soudure des brides.

Le tuyau x, auquel on veut souder une bride, est monté dans une paire de mâchoires Q, serrées par la manette U, puis on y pose la bride à souder passée dans la coulisse circulaire G du four, où elle est soumise à l'action de l'arc. Dès que cette partie de bride arrive au rouge, on l'amène, en faisant tourner Q par le levier S et la transmission R, entre les mâchoires j et k, que l'on serre fortement au moyen de la manette M, de manière à en opérer la soudure. Le four G se déplace verticalement par la manette F et horizontalement par les pignons E sur les crémaillères D D : la pince j se déplace aussi verticalement par N et horizontalement par i sur la crémaillère d.

Avec le dispositif représenté en figure 20, la plaque à travailler v_1 est chauffée par un arc jaillissant entre l'électrode cylindrique v_1 et l'électrode v, qui tourne à son intérieur par la poulie u. Un solénoïde directeur w_1 souffle l'arc sur v_1. L'appareil analogue (fig. 21) permet de souder facilement des fonds de cylindres v_1.

Le four de M. *Parkinson*, ingénieur de la *Lancaster Railway Carriage and Wagon C°*, représenté par les figures 22 et 23 est destiné spécialement au soudage des roues de wagons.

Le four se compose de deux compartiments D et C, réunis par un canal N, avec chacun une paire de charbons E et F, réglables par crémaillère et pignon H et J, et, au bas, des morceaux de charbons de cornue L L, qui permettent de diviser davantage les charbons F et J et d'en faire jaillir des arcs beaucoup plus longs qu'avec des électrodes non divisées. En outre, des tuyaux M amènent aux foyers, par des trous disposés en spirale, de la vapeur ou de l'air comprimé, qui augmentent la température. Les rais B des roues sont introduits en a, et leurs massiaux en a', puis soudés à B. Le canal N permet aux gaz de D de passer en C par O, et le tuyau P permet d'injecter en O directement de l'air comprimé, en même temps que la vapeur de M. Les scories etc. s'évacuent par $a'a'$.

Dans le four (fig. 24 et 25) disposé pour le soudage des moyeux des roues, l'arc jaillit en E F, sous l'arche A', au centre de la roue. Les charbons E et F sont commandés par le jeu de crémaillère et pignons J H H'.

GUSTAVE RICHARD.

PRODUCTION
DE LONGUES ÉTINCELLES
A LA SURFACE DE L'EAU

Si l'on place dans le circuit de décharge d'une grande batterie un excitateur avec une distance explosive suffisante, et un grand bassin plein d'eau, si les deux tiges de l'excitateur touchent la surface du liquide, on obtient, au moment de la décharge, une brillante et bruyante étincelle qui éclate entre les deux conducteurs, en suivant la surface de l'eau. Cette étincelle superficielle, qui peut être produite sur beaucoup de corps peu conducteurs, a généralement une longueur considérable : vingt fois ou plus la longueur maxima de l'étincelle qui, toutes autres choses égales, pourrait éclater entre les sphères de l'excitateur si l'on supprimait l'eau du circuit de décharge. J'en ai couramment obtenu de 2 m. de longueur.

Dans un mémoire déjà ancien (1), où je m'étais occupé incidemment de l'étincelle superficielle, j'ai proposé une explication de ce phénomène d'après laquelle il ne serait

(1) A. RIGHI. Recherches expérimentales sur la décharge électrique. *Mem. R. Acc. dei. Lincei. Mem. della Classe di Scienza Fis Mat. e Nat.* 3e série, VI, 1877. *N. Cimento.* 3e série. t. I. p. 234.

qu'une variante de la décharge latérale. J'ai eu l'occasion, récemment, de m'occuper à nouveau de ce phénomène, à propos de mon cours sur la foudre et sur la décharge électrique, ce qui m'a conduit à préciser et à compléter mes explications. Je me propose d'exposer dans cette Note la théorie de la décharge superficielle, et de décrire une expérience qui la met bien en évidence.

Si on donne au circuit de décharge d'un condensateur une forme telle que deux de ses points, que nous appellerons A et B soient suffisamment voisins et que la distance qui les sépare ne soit pas très faible par rapport à la longueur totale du circuit, on verra, au moment de la décharge, éclater entre les deux points A et B une étincelle qui constitue la *décharge latérale*. Celle-ci peut encore se produire entre un point quelconque du circuit de décharge et un conducteur, isolé ou non, qui se trouve suffisamment rapproché; mais on n'a pas à considérer ce cas directement dans la question actuelle.

La longueur maxima de l'étincelle latérale AB dépend de diverses circonstances, parmi lesquelles il faut noter la capacité du condensateur, la distance explosive à l'excitateur et, par-dessus tout, le rapport entre la résistance de la partie du circuit comprise entre les points A et B et celle du circuit total. Elle se produit évidemment lorsque, pendant la décharge, ces deux points se trouvent, à un moment donné, portés à des potentiels suffisamment différents. Il n'est pas facile de déterminer comment le potentiel des différents points du circuit varie avec le temps pendant la décharge; mais on comprend que, si la résistance du circuit est suffisante pour que la décharge ne soit pas oscillante, la distribution des potentiels, pendant une partie de la durée de la décharge, se rapprochera d'autant plus de ce qui se vérifie dans le cas d'un courant constant que la capacité du condensateur, la résistance du circuit, et partant, la durée totale de la décharge, seront plus grandes. On comprend donc, ce que, du reste, l'expérience confirme lorsqu'on forme le circuit avec un tube plein d'eau, que l'on obtienne d'un circuit donné des étincelles latérales d'autant plus longues que la résistance comprise entre les points A et B est elle-même plus grande, et aussi qu'on obtienne des étincelles latérales plus longues en tenant constante la résistance entre A et B et en diminuant la résistance du reste du circuit.

Cela posé, supposons que le circuit de décharge soit disposé de façon que non seulement deux, mais beaucoup de points, A, B, C, D, pris successivement le long de ce conducteur, se trouvent à une petite distance entre eux. Avec une décharge d'intensité suffisante on pourra produire alors les phénomènes suivants.

Au commencement de la décharge, il pourra arriver que la différence de potentiel entre deux de ces points, par exemple A et B, devienne, à un moment donné, suffisamment grande pour qu'il se produise entre ces points, une étincelle latérale. S'il en est ainsi, il se formera très probablement d'autres décharges latérales. En effet, l'étincelle A B déjà formée offre, en général, au courant une résistance moindre que celle du circuit métallique entre les points où elle éclate; de toute façon, elle forme une dérivation et, par cela seul, tend à diminuer la résistance totale du circuit de décharge; il en résulte que la variation de potentiel de point à point sera plus rapide. Il peut donc arriver que la différence de potentiel entre deux autres points du circuit, B et C, par exemple, devienne suffisante pour que l'étincelle latérale B C se produise, tandis qu'elle ne se serait pas produite si, un instant auparavant, ne s'était formée l'étincelle AB. De même, la production de l'étincelle BC, qui entraîne une diminution ultérieure de la résistance totale du circuit déterminera facilement la production d'une troisième étincelle latérale, et ainsi de suite. Si l'expérience est disposée de façon que toutes les étincelles latérales soient dans le prolongement les unes des autres, elles sembleront, à elles toutes, ne former qu'une longue étincelle, qui se produit sans qu'il soit nécessaire d'établir entre les

armatures du condensateur une différence de potentiel plus grande que celle qui correspond à l'étincelle qui se forme entre les tiges de l'excitateur.

Toutes les étincelles latérales commencent l'une après l'autre, mais avec des retards suffisamment faibles pour qu'elles semblent simultanées, à moins qu'on ne les observe dans un miroir tournant animé d'une vitesse angulaire suffisante. Il est encore très vraisemblable que, si en raison du grand nombre d'étincelles latérales produites de cette façon, la résistance totale du circuit est réduite, en fin de compte, à une valeur assez faible, la décharge finira par devenir oscillante.

Pour vérifier ces prévisions, j'ai construit l'appareil représenté par la gravure ci-jointe (fig. 1) qui répond parfaitement aux idées en vue. Dans le circuit de décharge d'un grand condensateur on intercale l'excitateur AB dont les sphères ont environ 4 cm. de diamètre, et un tube de verre plein d'eau CD terminé, d'un côté, par un évasement D en forme d'entonnoir et de l'autre C, par un tuyau de caoutchouc fermé par une pince à vis, afin que le remplissage et la vidange du tube puissent être rapidement effectués. Ce tube porte dix trous latéraux, a_1, a_2, a_3,.. a_{10}, fermés par des bouchons à travers lesquels passent des fils de cuivre qui sont terminés, de l'autre côté de l'appareil, par des sphères d'étain b_1, b_2, b_3,... b_{10}, dont le diamètre est de 1,4 cm., et qui sont placées en ligne droite, les unes à côté des autres; elles sont portées par des colonnettes en ébonite qui peuvent être fixées à une distance quelconque entre elles, comme on peut le voir sur la figure. De plus, au premier fil a_1 b_1, et au dernier a_{10} b_{10}, sont fixés des conducteurs par lesquels la colonne d'eau peut être introduite dans le circuit de décharge.

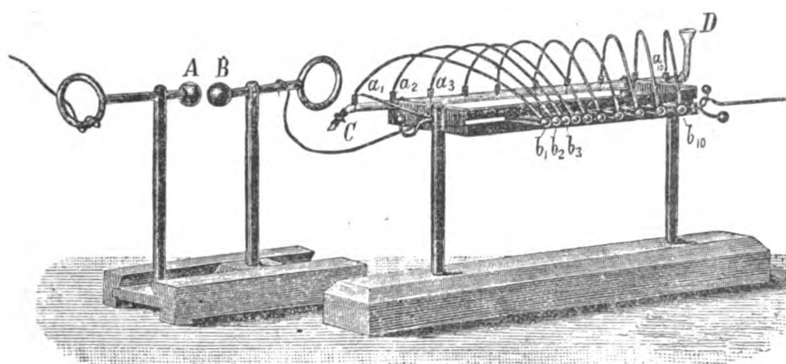


Fig. 1. — Appareil pour l'étude des étincelles latérales.

Dans mon appareil, le tube a 1,4 cm. de diamètre, et l'intervalle entre deux trous consécutifs est de 7 cm.; il contient de l'eau deux fois distillée. Toutefois, comme la résistance de l'eau est très variable en raison des faibles quantités de substances diverses qu'elle peut tenir en dissolution, il sera bon pour répéter ces expériences, de se munir, en plus de l'eau pure, de quelques mélanges d'eau et d'alcool ou bien d'eau avec des traces d'acide, afin de ne pouvoir donner au liquide la résistance la plus convenable pour obtenir de longues étincelles latérales. Il faudra aussi modifier la résistance du liquide ou les dimensions du tube suivant la plus ou moins grande capacité du condensateur employé. Quoi qu'il en soit, les phénomènes que nous allons décrire s'observent dans tous les cas; les précautions indiquées n'ont d'autre effet que de les rendre plus apparents.

On commence par rapprocher les boules de l'excitateur à une faible distance; la décharge traverse la colonne liquide, sans qu'il se manifeste rien de remarquable. On augmente ensuite peu à peu la distance explosive à l'excitateur; on observe alors une étincelle

entre deux des dix sphères alignées, b; elle éclate généralement entre celles qui sont les plus rapprochées. En éloignant encore les deux sphères A et B, on obtient deux étincelles en b, puisque, à l'étincelle latérale déjà indiquée, il vient s'en ajouter une qui se produit entre les deux boules qui, après les deux premières sont le plus rapprochées l'une de de l'autre, parmi le restant. On obtiendra ensuite trois, puis quatre étincelles, jusqu'à ce que, enfin, avec une distance explosive AB suffisamment grande, on obtienne toutes les neuf étincelles entre les dix petites sphères. La distribution des étincelles latérales, lorsqu'elles se produisent partiellement, dépend naturellement de l'écartement relatif des boules entre elles.

D'ordinaire, les intervalles entre les boules b_1, b_2, b_3,... b_{10}, sont distribués en ordre croissant de la gauche vers la droite; on aura, par exemple, en centimètres :

$$
\begin{aligned}
b_1\, b_2 &= 0{,}06\\
b_2\, b_3 &= 0{,}5\\
b_3\, b_4 &= 0{,}65\\
b_4\, b_5 &= 0{,}8\\
b_5\, b_6 &= 1\\
b_6\, b_7 &= 1{,}4\\
b_7\, b_8 &= 1{,}8\\
b_8\, b_9 &= 3{,}1\\
b_9\, b_{10} &= 3{,}9.
\end{aligned}
$$

Dans ce cas, en augmentant peu à peu la distance explosive extérieure, les étincelles latérales s'ajouteront les unes aux autres par ordre, de gauche à droite. Ainsi, dans une expérience où les neuf intervalles avaient les valeurs ci-dessus, on obtint des étincelles en nombre respectivement de

1, 2, 3, 4, 5, 6, 9,

en donnant à la distance explosive à l'excitateur, les valeurs respectives suivantes

1 cm., 1,5, 2, 2,5, 3,1, 3,9, 4,2 cm.

Dans le premier cas, c'est-à-dire quand on n'observe que l'étincelle latérale $b_1\, b_2$, celle-ci est rouge; elle est donc du troisième ordre, suivant la classification que j'ai proposée [1].

[1] *Loc. cit.*

Les étincelles $b_2\, b_3$, $b_3\, b_4$,... etc., qui sont provoquées en éloignant de plus en plus les sphères AB, passent graduellement au jaune (second ordre), puis au blanc. Si toutes les neuf étincelles latérales se produisent, elles sont toutes blanches et vives (premier ordre). L'étincelle à l'excitateur présente des modifications successives analogues. Ces changements d'aspect des étincelles sont en relation avec les diverses résistances que présente le circuit pendant une partie notable de la durée du phénomène.

Comme on voit, l'expérience exécutée avec l'appareil ci-dessus confirme les prévisions exposées tout d'abord; mais, en outre, elle peut servir à éclaircir l'explication des étincelles superficielles. En effet, les neuf étincelles qui éclatent entre les dix sphères prises dans leur ensemble, ne diffèrent pas essentiellement d'une étincelle à la surface de l'eau. On peut passer d'un cas à l'autre de la façon suivante :

Supposons que les fils a_1, b_1, a_2, b_2, etc., et le tube CD soient supprimés, et que les dix sphères b_1, b_2. . . b_{10}, soient directement en contact avec une colonne d'eau qui offre, entre une boule et la suivante, la même résistance que produisait auparavant l'eau du tube. Si nous imaginons encore que le diamètre des boules ait été réduit jusqu'à être infiniment petit, l'appareil ne sera pas foncièrement changé, mais les neuf étincelles latérales formeront par leur ensemble une étincelle superficielle. On peut aussi augmenter indéfiniment le nombre des boules en en intercalant des nouvelles entre les premières. D'un autre côté on peut supprimer, par la pensée, ces boules infiniment petites, puisque les parties superficielles de l'eau peuvent en tenir lieu; de cette façon, on sera passé du cas de l'appareil décrit au cas de l'étincelle à la surface de l'eau.

Pour expliquer directement la formation des étincelles superficielles, on peut donc raisonner comme suit : quand la charge commence, elle passe à travers l'eau du bassin; mais bientôt il s'établit entre les points de la surface du liquide touchés par chacun des deux

conducteurs qui la mettent en circuit, et les points voisins, une différence de potentiel suffisante pour produire une première étincelle latérale. Celle-ci diminuant brusquement la résistance totale du circuit, peut déterminer une seconde étincelle qui vient allonger la première et ainsi de suite. Avec de faibles distances explosibles à l'excitateur, on n'observe que de courts rayons lumineux sur l'eau à partir des deux conducteurs. En augmentant cette distance explosive, les rayons s'allongent jusqu'à ce que se forme la véritable étincelle superficielle.

C'est particulièrement dans le voisinage des deux conducteurs qui touchent le liquide que la variation de potentiel de point en point doit être la plus rapide, et, par conséquent, c'est en ces points que doivent commencer les décharges latérales dont la succession constitue la lueur superficielle. C'est pour imiter cette circonstance que, dans mon appareil, j'ai séparé les dix boules par des intervalles croissants. En toute rigueur, pour imiter fidèlement la décharge superficielle, il faudrait distribuer les dix boules symétriquement, avec des intervalles décroissants depuis le milieu jusque vers les extrémités de la série. L'appareil se prête bien encore à cette expérience, bien que, pour l'adopter de cette manière, il serait utile de le former avec un nombre de boules beaucoup plus grand que celui qui est adopté dans le cas présent. Quand il est employé comme nous l'avons expliqué, il montre de façon évidente, ce qui se produit dans une moitié de l'étincelle superficielle. Ou encore, il représente le cas où un des conducteurs qui affleurent la surface de l'eau est remplacé par une lame largement immergée.

Dans le Mémoire que j'ai déjà cité plusieurs fois, le lecteur trouvera la description des décharges superficielles et, entre autres choses, verra que les rayons lumineux qui se forment sur l'eau ont des différences caractéristiques suivant le signe de la charge qui est communiqué à l'eau par le conducteur d'où partent ces rayons. En particulier les rayons positifs sont plus longs que les négatifs. Si, avec l'appareil actuel à dix boules, on obtient, par exemple, cinq étincelles (de b_1 à b_9) quand l'armature positive est en contact avec b_1, on n'en obtient plus que deux ou trois après avoir interverti les communications avec le condensateur. On constate donc la même différence caractéristique que nous venons de rappeler.

L'explication des décharges superficielles que nous avons exposée dans ce Mémoire peut s'appliquer encore à d'autres phénomènes. Elle nous a déjà servi à expliquer les étincelles dans l'eau et notamment celles qu'on obtient le long de chaque électrode (¹), comme aussi, jusqu'à un certain point, à l'explication des décharges constituées par des masses lumineuses en mouvement (²). De plus, elle peut s'appliquer à rendre compte des longues étincelles qui atteignent parfois 4 ou 5 mètres, et qu'on obtient sur des lames recouvertes de particules métalliques (³) et, par conséquent, à expliquer aussi l'énorme longueur de la foudre.

Si ce que nous venons d'exposer est exact, les rayons et les étincelles superficielles ne doivent pas se produire simultanément dans toute leur longueur, mais doivent, en réalité, commencer près des extrémités et ensuite s'étendre vers le milieu. Leur forme, généralement assez irrégulière, rend très difficile la constatation directe de ce fait. J'ai cependant observé dans un miroir tournant à la vitesse angulaire d'environ 40 tours par seconde, la suite d'étincelles qu'on obtient entre les dix sphères de mon appareil, et j'ai constaté le petit retard relatif avec lequel elles se produisent successivement.

A. RIGHI,
Professeur de physique
à l'Institut royal de Bologne (Italie).

(¹) *Loc. cit.*
(²) *Mém. della R. Acc. di Bologna*, 5ᵉ série, 5*a*, t. I, p. 679.
(³) *Rend. della R. Acc. dei Lincei*, 16 décembre 1888.

REVUE

DE LA PRESSE INDUSTRIELLE

ET DES INVENTIONS

Allumeur électrique Swinton.

Le courant à haute tension fourni par une distribution quelconque L au primaire à fil fin des transformateurs P, C, S, est transformé en

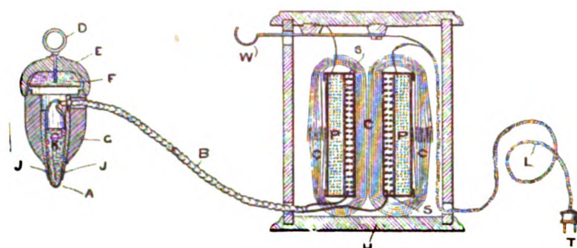


Fig. 1. — Allumeur électrique Swinton.

un courant intense et de basse tension, envoyé par P S à l'allumeur G A, dès qu'on l'enlève du contact automatique à ressort W. Cet allumeur consiste en un fil de platine A enroulé sur un bouchon d'amiante K et attaché aux supports JJ, reliés au câble B de S.

G. R.

Ressorts pour conducteurs Siemens et Halske (1895).

Ces ressorts en spirale sont à double enroulement de manière à présenter leurs deux

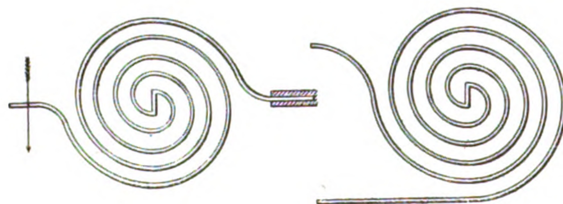


Fig. 1. — Ressorts pour conducteurs Siemens et Halske (1895).

attaches au conducteur à leur périphérie, ce qui réduit considérablement leur encombrement, tout en leur assurant une grande flexibilité.

G. R.

Diaphragmes Kellner.

Ces diaphragmes sont formés de pains de savon comprimé, convenablement consolidé entre des plaques perforées inattaquables.

Le savon étant insoluble dans les dissolutions alcalines concentrées, on réalise ainsi un diaphragme presque sans affinité pour l'oxyde alcalin : soude, potasse, etc., formé pendant l'électrolyse, et ne retenant l'alcali qu'en faible combinaison, de manière à empêcher la diffusion de la soude, etc., dans le compartiment des anodes.

G. R.

Pile thermo-électrique Cox (1895).

Les éléments de cette pile sont constitués par des secteurs annulaires superposés, séparés par

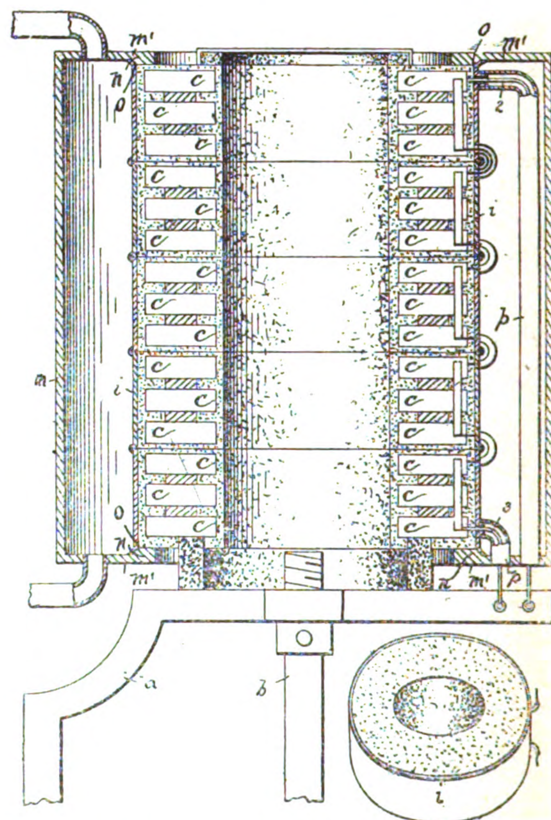


Fig. 1 et 2. — Pile thermo-électrique Cox. Coupe verticale et détail d'une assise.

des isolants : le pôle négatif de chaque assise

étant relié au pôle positif de la suivante par une lame *edf*, figure 3, de sorte que le courant traverse successivement toutes ces assises en hélice pour aboutir aux pôles 2 et 3 de la pile. Ces éléments sont ensuite recouverts extérieu-

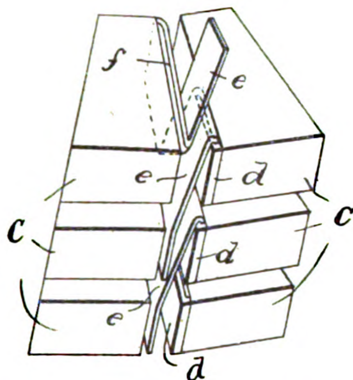


Fig. 3. — Pile thermo-électrique Cox. Détail de la liaison des éléments.

rement et à l'intérieur, d'une garniture réfractaire qui en protège les connexions, puis enveloppés d'un cerclage en fer *i*, et superposés de manière à constituer une pile chauffée au gaz en *b* et refroidie par une circulation d'eau *mm'p*. G. R.

Préparation électrolytique des alliages d'étain et des métaux alcalins, procédé Vautin (1894).

Le procédé consiste à prendre pour cathode un bain d'étain fondu H, surmonté d'une dis-

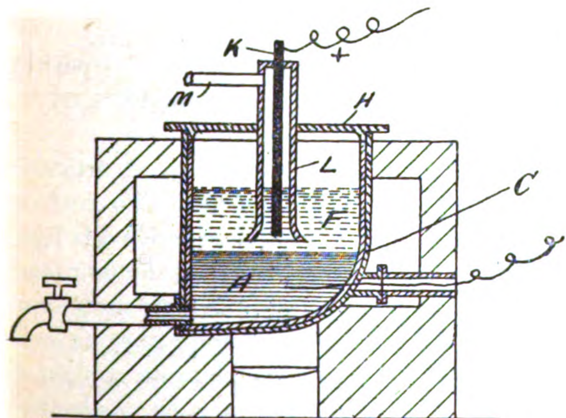


Fig. 1. — Préparation électrolytique des alliages d'étain et des métaux alcalins, procédé Vautin (1894).

solution de sel alcalin F, constituant l'électrolyte, et pour anode des charbons K, protégés par des tubes de terre réfractaire L. La réduction du sel alcalin se produit paraît-il très facilement, avec formation d'un alliage de son métal et de l'étain, que l'on peut utiliser soit directement soit pour en retirer ce métal. Les gaz s'évacuent par *m*. G. R.

Diaphragmes pour électrolyseurs Guthrie (1894).

Ces diaphragmes sont constitués par une matière granuleuse 3, alimentée en 4, entre deux plaques insolubles 4_a, sur des louvers

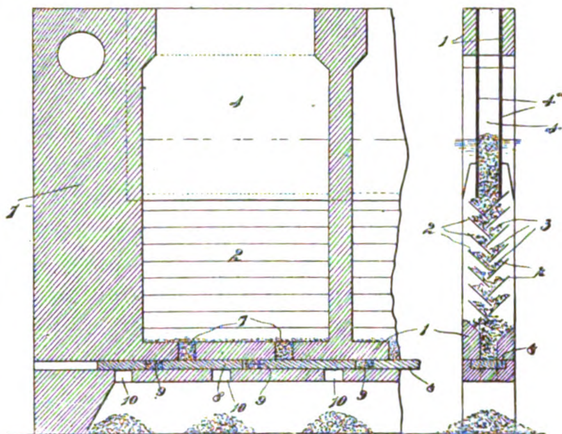


Fig. 1. — Diaphragmes Guthrie (1894).

2 2, puis évacuée au besoin par des trous 9 10, au travers du tiroir 8. La matière granuleuse peut être constituée par un mélange de sable et d'un dépolarisant, comme le peroxyde de manganèse. G. R.

Montages électr — a — magnétiques, par W.-E. Irisch.

Nous connaissons tous les montages *électromagnétiques*, base de la grande majorité des appareils employés en électricité; mais voici qu'un de nos confrères d'outre-mer tend à nous démontrer dans *The Electrical Engineer* l'inanité ou tout au moins l'inutilité de ces dispositions qu'il prétend remplacer par d'autres, *électramagnétiques*, dont nous avons intentionnellement scandé l'orthographe

dans le titre de cet article pour en mieux faire sentir l'étymologie. Il ne s'agit en effet de rien moins que de la suppression de l'électro-aimant, c'est-à-dire de l'obtention des mêmes résultats électriques *sans* aimantation.

Et ce n'est pas une boutade fantaisiste, comme on pourrait le croire au premier abord; c'est toute une profession de foi sur laquelle insiste l'auteur en disant : « Un homme qui a des convictions sans avoir le courage de les affirmer est généralement regardé comme un couard. Tout en ne voulant pas être ainsi stigmatisé, j'éprouve néanmoins une certaine hésitation à exposer les miennes. Mais, après avoir pendant un certain nombre d'années multiplié les expériences de substitution de conducteurs électro-thermiques à des électro-aimants et construit presque tous les types de montages, appareils et machines électriques généralement actionnés par l'électromagnétisme en employant simplement une bande métallique se dilatant sous le passage du courant et produisant les mêmes effets, je suis arrivé à cette conviction que, dans un avenir prochain, les électro-aimants ne se retrouveront plus que dans nos musées comme reliques du passé. Une telle assertion sans une sorte de preuve à l'appui ne pouvant cependant que me conduire directement dans un asile d'aliénés, je me hâte de montrer brièvement et sommairement comment un grand nombre des dispositions les plus communes dans les applications électriques peuvent être réalisées sans électro-aimants.

« S'il était démontré qu'en fait un fil tendu, ne mesurant que quelques centimètres et ne présentant parfois qu'une résistance et une f. c. é. m. nulles comparativement à un électro-aimant, donne les mêmes résultats avec moins d'éléments de construction mis en œuvre, plus de simplicité et d'économie, il n'y aurait aucun obstacle à la relégation de l'électro-aimant dans les cabinets de curiosités.

« Je suis cependant arrivé à ces conclusions par étapes progressives, dont le début remonte à 1866, par modifications de l'exploseur à fil rougi aboutissant au moteur électro-thermique de date récente mentionné à la fin de cet article. »

Exploseurs électro-thermiques. — M. Irish a commencé ses expériences avec cet exploseur comprenant simplement une petite boîte isolée à travers laquelle passe un fil court, de résistance très élevée. Cette boîte contenant la poudre explosive logée autour du fil, le passage du courant porte le fil au rouge et détermine l'explosion.

Lampes à fil de platine. — De l'exploseur à fil de platine à la lampe à fil de platine, il n'y avait qu'un pas; mais, après avoir tout d'abord beaucoup espéré de ces prémisses, l'auteur a reconnu qu'il n'y avait rien à faire dans cet ordre d'idées.

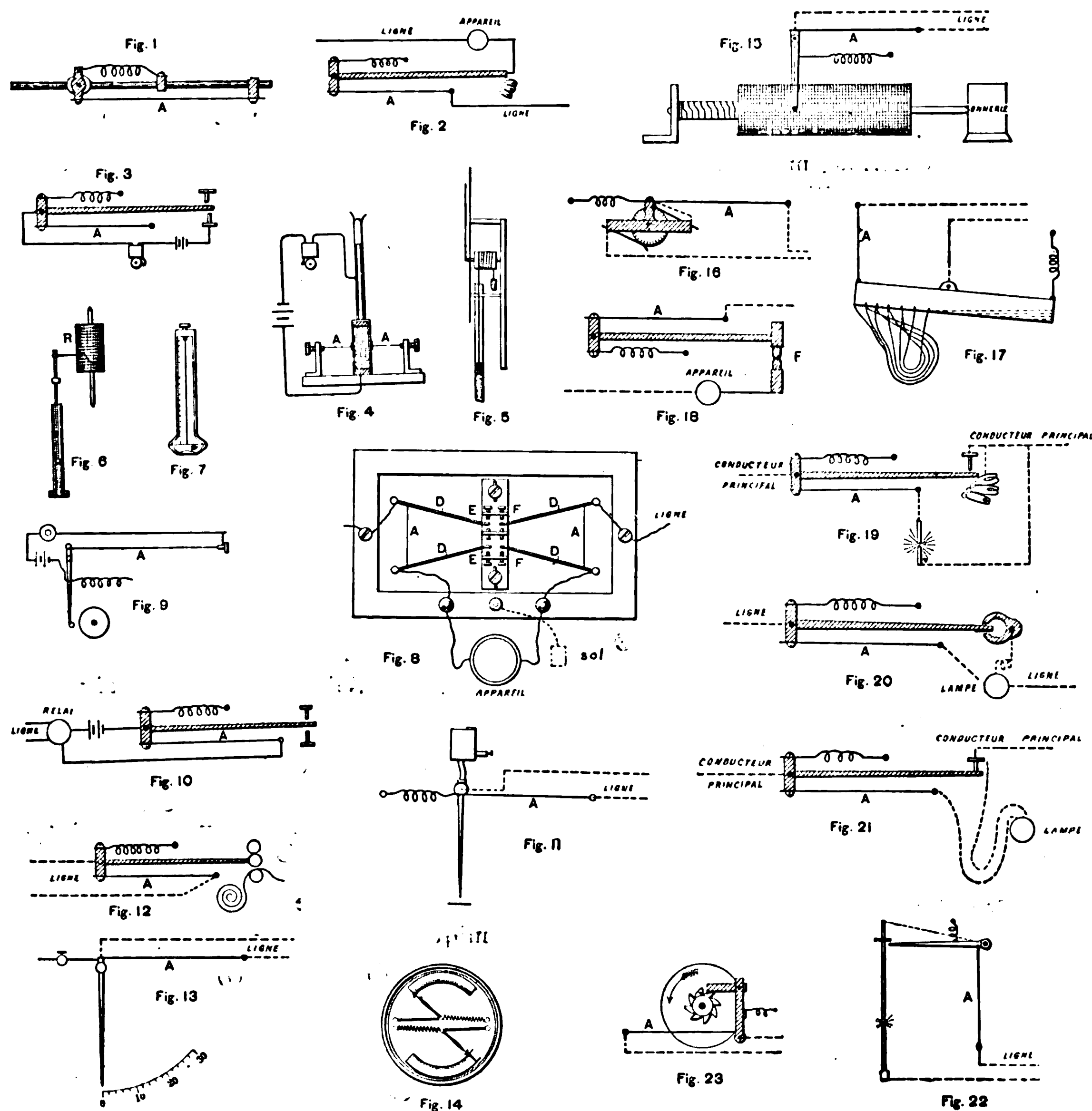
Régulateurs de vapeur, d'eau chaude, de gaz et d'électricité. — Les expériences précédentes ont conduit à d'autres qui avaient pour objet le contrôle et le réglage d'une alimentation en vapeur, etc., par dilatation d'un fil échauffé. La vapeur, l'eau chaude, le gaz et l'électricité échauffaient un fil dont la dilatation permettait à un ressort, agissant sur le robinet d'arrêt qui commandait l'alimentation, de revenir sur lui-même et d'opérer le réglage. La contraction du fil A (fig. 1) ouvrait le robinet d'arrêt et laissait passer plus de vapeur, etc.; sous l'action de sa dilatation l'inverse se produisait.

Régulateurs électriques. — La disposition précédente a été légèrement modifiée en vue des applications électriques.

Elle comprenait un levier (fig. 2), articulé à l'une de ses extrémités, portant d'un côté une bande métallique A tendue et reliée à la ligne, et fixé de l'autre à un ressort également tendu agissant en sens inverse de la lame métallique. Dans le voisinage de l'extrémité libre du levier étaient montés plusieurs plots de contact en connexion avec des bobines de résistance. Quand la lame A se dilatait par échauffement sous le passage du courant, le ressort revenant

sur lui-même déplaçait l'extrémité libre du levier sur les plots et faisait ainsi varier la résistance.

Un grand nombre de dispositions analogues trouveraient probablement aujourd'hui des applications utiles dans la pratique.



Montages électromagnétiques.

Thermostats. — On voit immédiatement qu'une très légère modification de ce dispositif permettrait de transformer ces régulateurs en excellents thermostats représentés par la figure 3. Il est bien entendu d'ailleurs que ces schémas ne sont que des illustrations du principe et n'ont nullement la prétention d'indiquer le mode réel de construction. — A dans toutes les figures représente la lame métallique soumise à l'échauffement.

Des régulateurs ou indicateurs pour foyers, couveuses, élévations ou abaissements dange-

reux de température, peuvent être construits de même.

Galvanomètres, etc. — Les figures 4, 5 et 6 représentent diverses formes d'instruments reposant sur le même principe. Une légère modification en permet l'application aux lectures électriques ou thermométriques. La figure 4 représente un cylindre à parois flexibles qui se trouvent tirées extérieurement par la tension de fils A fixés en leur milieu; les autres extrémités des fils sont solidement maintenues par des vis à des équerres placées à angles droits avec les diaphragmes. L'extrémité ouverte d'un tube de verre gradué pénètre, par le haut du cylindre dans le liquide dont celui-ci est rempli.

Comme thermomètre, le liquide s'élève dans le tube au fur et à mesure de l'accroissement de la température et proportionnellement à la dilatation des fils et à la pression intérieure des diaphragmes. Comme thermostat, les parois du tube sont traversées à intervalles convenables par des fils qui ferment un circuit à une température déterminée. Comme galvanomètre ou indicateur électrique, le tube est gradué en conséquence et les deux équerres servent de bornes. Le courant échauffe et fait dilater les fils AA et le liquide s'élève dans le tube en conformité de cette dilatation. La figure 6 est la reproduction du même système avec dispositif pour lectures.

Téléphones mécaniques. — Il a été observé que, dans certaines conditions, un fil tendu, traversé par un courant, entre en vibration. En en recherchant la cause et se livrant à de nouvelles expériences dans cette voie, l'auteur a eu l'idée d'appliquer utilement ce phénomène à la réalisation du téléphone mécanique. Il a introduit une pile de manière à compléter le circuit à travers les fils légèrement tendus et les diaphragmes. Il a ainsi constaté une grande amélioration dans l'articulation des sons et la possibilité d'emploi sur une ligne beaucoup plus longue. Voir la figure 7.

Téléphone thermique enregistreur. — Les expériences précédentes l'ont immédiatement conduit à l'étude du téléphone thermique enregistreur décrit par lui en 1887. L'enregistreur comportait le diaphragme habituel qui transmettait ses vibrations à une boucle de fil échauffée perforant un ruban. Le ruban irrégulièrement perforé passait entre deux cylindres à surfaces conductrices élastiques entre lesquelles s'établissait un contact à travers les perforations. La résistance du circuit se modifiait suivant les variations des dimensions des perforations.

Le récepteur se composait simplement d'un fil tendu entre le centre d'un diaphragme et une vis réglable à l'extrémité de la poignée, l'objet de cette vis étant de régler la tension du fil, comme on le voit sur la figure 7.

Ce récepteur bien construit est à tous égards équivalent au meilleur téléphone électromagnétique acoustique.

Paratonnerres. — La figure 8 est l'illustration d'une forme de paratonnerre. Le contact entre les deux paires de ressorts et les bornes à la terre est retenu par la tension des fils thermiques A, en circuit avec l'appareil à protéger. Si le fluide électrique vient à pénétrer dans cet appareil, il trouve huit passages offerts à son écoulement.

Sonneries électriques. — Une très simple transformation de leurs différentes parties et l'addition d'un timbre ont permis de construire un grand nombre de sonneries électrothermiques. Voir figure 9.

Parleur télégraphique local. — En conservant le même principe mais en modifiant légèrement la disposition de ses éléments, on peut construire un bon parleur local. Voir figure 10.

Syphon recorder télégraphique. — Il n'y a aucune complication à rester dans les données de cet instrument, comme l'indique la figure 11.

Enregistreur Morse. — La figure 12 représente un enregistreur Morse actionné par une lame électro-thermique.

Ampèremètre et autres indicateurs. — Ces indicateurs électro-thermiques sont aussi simples et pratiques que tous autres au point de vue des lectures dans les limites de 5 p. 100 environ ; ils ont en outre l'avantage de pouvoir s'appliquer avec autant d'exactitude aux courants alternatifs qu'aux courants continus. Ils marquent immédiatement le maximum et s'y arrêtent sans oscillations. Il suffit de compléter les figures 13 et 14 par ce qui a été dit précédemment pour en rendre le mode de fonctionnement très clair.

Voltmètres. — On peut construire un bon voltmètre exactement sur les mêmes données que l'ampèremètre ; il suffit d'employer un fil plus long et plus fin. Il se prête également bien aux lectures sur courants continus ou alternatifs.

On peut construire conformément à la figure 15 un ampèremètre enregistreur simple.

Régulation des moteurs. — Pour la régulation des moteurs on ne connaît pas de meilleur moyen que le régulateur électrothermique qui agit sur les balais et donne les meilleurs résultats en maintenant uniforme la vitesse angulaire sous des charges variables. La lame thermique et le ressort sont reliés au régulateur de balais en opposition l'une avec l'autre. En passant par la lame pour atteindre le balai supérieur, le courant la dilate en raison de son intensité, en laissant le ressort agir sur le régulateur et déplacer les balais en conséquence. Voir figure 16.

Quand on veut faire varier l'intensité des champs magnétiques on dispose le ressort et la lame métallique de manière à faire varier la position d'une coupe contenant du mercure dans lequel plongent des fils reliés aux bobines inductrices. L'inclinaison de la coupe dans un sens fait monter le mercure au-dessus des contacts successifs, en mettant progressivement des bobines hors circuit. L'inclinaison du mercure en sens contraire l'éloigne des contacts et met les bobines successivement en circuit, comme on le voit en se reportant à la figure 17. Pour obtenir un rhéostat, il suffit de modifier la disposition de la figure 2.

Rhéostats automatiques. — Ces montages électro-thermiques peuvent être avantageusement employés sur presque tous les circuits électriques et en toutes circonstances. Supposons, par exemple, que la figure 18 représente une forme de montage protecteur de l'induit d'un moteur. La lame métallique et le ressort agissent sur un levier qui fait varier la résistance entre des crayons de charbon proportionnellement à l'excédent d'intensité. Sous le courant normal les charbons restent en contact et offrent pratiquement une résistance nulle ; mais, si le courant dépasse l'intensité normale, la lame A se dilate et le ressort revient sur lui-même proportionnellement ; il y a alors séparation des crayons et introduction d'une résistance correspondante sous forme d'arc. Les pointes s'écartent à la distance que la f. é. m. peut faire franchir au courant. Quand l'intensité est revenue à sa valeur normale, les pointes se rapprochent de nouveau, et ainsi de suite. Il n'existe aucune limite au nombre de modifications de cette disposition ou à l'application de ces résistances et de ces coupe-circuits automatiques. Là où il y a à éviter la formation d'un arc, on peut introduire à sa place une résistance inerte, comme dans la figure 2.

Ces dispositions peuvent être substituées avantageusement aux fils fusibles, en ce qu'elles fonctionnent indéfiniment sans surveillance ni renouvellement.

Coupe-circuits et dérivations variables automatiques pour lampes à arc en série. — Les avantages de cette combinaison électrothermique extrêmement simple et efficace seront certainement, dit l'auteur, appréciés à leur juste valeur quand on les aura bien compris. La lame thermique donne tout d'abord une régulation plus parfaite et un fonctionnement plus sûr qu'un électro-aimant. Il en résulte d'ailleurs une nouvelle et importante propriété de la dérivation qui, depuis vingt

ans n'a fait aucun progrès pratique. On voit en effet, à l'inspection de la figure 19, que, dans ce système, quand la résistance de l'arc augmente, celle de la dérivation diminue, ce qui donne plus de constance au courant de ligne. Cette disposition prévient tout grillage de bobines en dérivation,

Le coupe-circuit automatique et la résistance variable de la dérivation s'unissent pour prévenir la possibilité d'une rupture de circuit, le levier ne pouvant cesser d'être en contact avec le conducteur principal sans introduire la dérivation, et *vice versa*. Dans le cas où, pour une raison quelconque, les charbons viennent à ne pas laisser passer le courant, la dérivation et la lampe sont instantanément mis hors circuit.

Régulateurs de lampes à arc à bas potentiel. — Pour des lampes à arc à bas potentiel, la disposition de la figure 20 réalise un excellent régulateur et empêche une lampe d'absorber le courant des autres.

Interrupteur pour poteaux, etc. — Un bon interrupteur automatique pour lampes en série, etc., susceptible d'être aisément fixé sur poteau, est appelé à rendre de grands services. La figure 21 donne un schéma répondant à ce désideratum.

Lampes à arc. — L'auteur a décrit à diverses époques dans *The Electrical Engineer*, plusieurs lampes à arc non magnétiques. Le principe qui les régit est le même pour toutes. La figure 22 accompagnée de la brève description suivante suffit à l'exposer. Un levier est relié d'un côté à un conducteur électro-thermique et de l'autre à un ressort. Ils sont tous deux tendus et en opposition, comme dans la plupart des cas précédents. Par suite de la dilatation du conducteur thermique, l'extrémité libre du levier s'engage sous une saillie pour soulever le charbon supérieur et établir l'arc. Au fur et à mesure que celui-ci s'allonge, sa résistance augmente, l'intensité du courant diminue et la lame métallique se contracte en tendant le ressort et abaissant le levier jusqu'à ce qu'il cesse de porter contre la saillie, ce qui permet la descente du charbon et l'alimention correspondante. Sous ce courant plus intense, la lame se dilate de nouveau et écarte les crayons, et ainsi de suite. Ces variations sont pratiquement si faibles que la lampe peut être considérée comme brûlant sans variation de f. é. m., de courant ou d'intensité lumineuse. L'action sur la lame métallique est d'ailleurs la même, que le courant soit continu ou alternatif.

Dans les derniers types de lampes établis suivant ce système, l'alimentation s'effectue par un mouvement de vis qui présente de nombreux avantages sur la crémaillère ou sur l'embrayage précédent. Ce mouvement de vis entretient une alimentation continue au lieu d'une alimentation intermittente et maintient pratiquement constantes pendant toute la durée des crayons l'intensité, la f. é. m., etc.

Moteur électrique non magnétique. — L'auteur ne revendique pas pour ce moteur, en tant que moteur électrique, l'avantage de l'économie. L'emploi du gaz aux lieu et place du courant électrique serait à cet égard bien préférable. Cependant, comme il est susceptible de perfectionnements et peut servir de point de départ dans la voie ouverte par lui, il espère que le lecteur voudra bien en suivre une courte description.

Dans ce moteur la force de contraction d'une série de lames métalliques est appliquée à la rotation progressive d'un arbre principal dont la vitesse angulaire est multipliée par un renvoi. La figure 23 représente une roue à rochet entre les dents de laquelle s'engage un cliquet; celui-ci est actionné par le levier qui agit lui-même en vertu des contractions de la lame A après sa dilatation sous le passage du courant qui y circule. Quand la lame est dilatée, le ressort a juste assez de tension pour attirer le levier et dégager le cliquet qui peut ensuite s'engager avec la dent suivante.

Le brusque éloignement de la source de chaleur laisse la lame revenir sur elle-même,

et le cliquet pousse en avant le rochet et son arbre avec une force qui n'a d'autre limite que celle des éléments agissant les uns sur les autres. Dès que le cliquet est arrivé au point mort, la lame se dilate de nouveau jusqu'à ce qu'il s'engage avec la dent suivante ; elle se contracte ensuite derechef, et ainsi de suite.

Pour obtenir un mouvement continu de rotation, on multiplie autant qu'il est nécessaire les leviers, ressorts, lames thermiques et cliquets. On peut en disposer une centaine, plus ou moins, sur le même arbre en une série très compacte. Les arbres moteurs et entraînés sont reliés les uns aux autres de manière à fournir la vitesse angulaire finale désirée.

L'arbre principal actionne un commutateur spécial qui ferme le circuit à intervalles réguliers à travers les lames successives et détermine un mouvement continu de rotation de la roue à rochet et de la poulie d'entraînement.

Il n'est peut-être pas hors de propos de mentionner qu'un poids de 5 kg. a été ainsi soulevé à plusieurs reprises avec la chaleur dégagée par une allumette, et un autre de 25 kg. avec celle fournie par la combustion de 50 cm. de mèche fine imbibée de gazoline. On objectera sans doute que la dilatation de la lame est trop lente pour pouvoir être appliquée pratiquement à des appareils télégraphiques, etc., on le constate en effet avec une lame trop grande et un courant trop faible. La même disposition s'applique également à l'électro-aimant.

Sans prendre autrement au sérieux ce premier New-York de notre confrère américain, nous avons cru pouvoir mentionner, à titre de curiosité, cette élucubration plus ingénieuse que pratique. Elle repose dans son ensemble sur les variations antagonistes d'état moléculaire, par tension ou par échauffement, de fils ou lames métalliques, et chacun sait combien peu on doit compter sur la constance de ces effets et combien, en mécanique, on cherche le plus possible à s'affranchir notamment des ressorts ou de tout ce qui leur ressemble. Cette méfiance sera d'autant plus légitime dans le cas actuel que le voisinage fréquent, sous une même enveloppe, des fils soumis à l'action calorifique du courant et des ressorts amènera dans ceux-ci des modifications d'élasticité qui en exagéreront encore les inconvénients. Il n'y a rien là d'ailleurs de bien nouveau, et il serait facile de citer nombre d'appareils électriques où, faute de mieux, tout ou partie des procédés ci-dessus décrits a déjà été ou est encore mis en œuvre.

La collection et le rapprochement systématiques de ces dispositions étaient néanmoins curieux, nous le répétons, et nous sommes trop amateur pour ne pas nous écrier en terminant : Vivent les écrevisses !

E. B.

REVUE DES SOCIÉTÉS SAVANTES

ET DES

PUBLICATIONS SCIENTIFIQUES

Sur la constante diélectrique de quelques substances et en particulier du verre, par Mazotto (1).

Les mesures étaient effectuées par la méthode de Lecher avec des oscillations dont la longueur d'onde variait entre 75 et 4 m.

Quatre condensateurs étaient employés ; trois d'entre eux étaient circulaires, l'autre était rectangulaire. Les premiers étaient formés par des plateaux ayant respectivement 9,6, 19,9 et 22,9 cm. de diamètre et 0,14, 0,14 et 0,044 d'épaisseur, maintenus à des distances de 5,11, 5,11 et 1,13 cm. Les plateaux du condensateur rectangulaire avaient 10,07 sur 15,39 cm. de côtés et 0,15 cm. d'épaisseur et pouvaient être placés à l'une des distances suivantes :

$d_0 = 2,60, \quad d_6 = 4,20, \quad d_4 = 2,80, \quad d_2 = 1,40 \quad d_1 = 0,70$ cm.

Le condensateur rectangulaire servait dans le cas des corps solides, que l'on introduisait sous forme de lames entre ses armatures. Les deux plus petits condensateurs circulaires

(1) *Rendiconti d. R. Acc. dei Lincei*, t. IV, p. 240-247.

étaient employés dans le cas des liquides; ils étaient alors plongés dans ces liquides. Le plus grand était toujours utilisé comme condensateur à lame d'air.

La constante diélectrique s'obtenait en prenant le rapport entre la capacité d'un de ces condensateurs lorsqu'une substance était interposée entre ses armatures et la capacité du même condensateur plongé dans l'air.

Deux méthodes étaient employées pour déterminer dans chaque cas la capacité. La première consistait à calculer cette capacité à l'aide de la formule de Cohn et Heerwagen (1)

$$\text{tang.}\ \frac{2\pi z}{\lambda} = \frac{\lambda}{8\pi C \log_e \frac{b}{a}},$$

où λ est la longueur d'onde complète, z la distance du dernier nœud au condensateur, b la

Tableau I. — Constantes diélectriques déduites de la formule de Cohn et Heerwagen.

Longueurs d'onde en mètres.	Pétrole CM	Pétrole CP	Huile CM	Huile CP	Soufre d_0	Paraffine d_0	Verre d_0	Verre d_4	Verre d_3	Verre d_2	Verre d_1	Verre Moyenne
5	»	1,66	»	2,00	»	1,57	»	»	»	»	»	»
10	1,85	1,84	2,38	2,32	2,24	1,59	2,99	2,89	2,93	2,80	»	2,90
25	2,00	2,05	2,70	2,61	2,46	1,57	3,71	3,47	3,42	3,26	3,37	3,45
50	2,04	2,33	2,97	2,95	2,67	1,77	4,17	3,87	3,64	3,43	3,84	3,79
75	2,18	1,96	3,24	2,57	2,82	1,78	4,21	4,01	3,46	3,48	3,61	3,75
Moyennes.	2,01	2,21	2,85	2,84	2,63	1,63	3,97	3,67	3,50	3,33	3,59	3,61

Tableau II. — Constantes diélectriques déduites de la formule de Kirchhoff.

Longueurs d'onde en mètres.	Pétrole CM	Pétrole CP	Huile CM	Huile CP	Soufre d_0	Paraffine d_0	Verre d_0	Verre d_4	Verre d_3	Verre d_2	Verre d_1	Verre Moyenne
5	»	2,00	»	2,50	»	»	»	»	»	»	»	»
10	1,93	2,16	2,56	2,80	2,84	1,86	»	3,70	4,08	3,50	»	3,76
25	2,07	2,12	2,79	2,69	2,61	1,61	4,19	3,66	3,77	3,58	4,15	3,87
50	2,06	2,32	3,08	2,92	2,71	1,77	4,41	3,87	3,80	3,65	4,36	4,02
75	2,13	»	3,21	»	2,79	1,74	4,19	3,81	3,40	3,52	3,75	3,73
Moyennes.	2,04	2,18	2,96	2,83	2,73	1,73	4,31	3,78	3,73	3,60	4,12	3,92

distance des fils parallèles formant le circuit secondaire et dont la valeur était de 12 cm., a le diamètre du fil (0,085 cm.) et C la capacité cherchée.

La seconde méthode consistait à substituer au condensateur dont on voulait la capacité un condensateur circulaire de 19 ou de 4 cm. de diamètre suivant la capacité à évaluer, et à faire varier sa capacité, en déplaçant l'un des plateaux avec une vis micrométrique, jusqu'à ce qu'on ait le même système de nœuds qu'auparavant; on calculait la capacité du grand condensateur au moyen de la formule de Kirchhoff.

Ces deux méthodes ne conduisent pas aux mêmes résultats. Dans son Mémoire l'auteur donne le tableau des nombres obtenus par l'une et l'autre méthodes pour les capacités de ses quatre condensateurs plongés dans l'air. De ce tableau il résulte que les capacités calculées par la formule de Cohn et Heerwagen sont généralement un peu plus grandes que celles qui sont calculées par la formule de Kirchhoff; les unes et les autres sont, pour des valeurs de la longueur d'onde variant entre

(1) Cohn et Heerwagen. *Wied. Ann.*, t. LXIII, p. 364 (1891); *La Lum. Elect.*, t. XLI, p. 461.

4 et 75 m., toujours voisines de leurs valeurs moyennes quoiqu'elles manifestent cependant une légère tendance à augmenter avec la longueur d'onde; les divergences sont un peu plus accusées pour les capacités calculées par la formule de Cohn et Heerwagen que pour les capacités calculées par celles de Kirchhoff.

Dans un second tableau l'auteur donne les valeurs qu'il a trouvées pour les constantes diélectriques du pétrole, de l'huile, du soufre, de la paraffine et du verre pour des longueurs d'onde croissant de 5 m. depuis 5 m. jusqu'à 75. Nous donnons quelques-unes de ces valeurs dans les deux tableaux ci-dessus. Dans ces tableaux CM indique que les nombres se rapportent aux expériences faites avec le condensateur circulaire de dimensions moyennes; CP qu'ils se rapportent à celles faites avec le petit condensateur circulaire; enfin d_0, d_6, d_4, d_2, d_1 indiquent que l'on a employé le condensateur rectangulaire, la distance entre les plateaux étant une de celles données plus haut.

D'après ces tableaux la valeur moyenne de K pour le pétrole est 2,11. Elle est intermédiaire entre les diverses valeurs trouvées par différents auteurs et se rapproche beaucoup de celles-ci si toutefois on en excepte la valeur 2,42 trouvée par Lecher. En outre elle est très rapprochée de la valeur du carré de l'indice de réfraction de ce corps pour les radiations de longueur d'onde infinie qui, d'après J.-J. Thomson, est $n^2 = 2,08$.

Pour l'huile, la valeur moyenne est 2,87, valeur très voisine de celle (2,93) qu'ont trouvée Arons et Rubens au moyen des oscillations électriques, mais sensiblement inférieure à celles (3,16) qu'a trouvée Hopkinson par une méthode statique.

Pour le soufre, la valeur moyenne est 2,68, intermédiaire entre le nombre 2,9 trouvé par J.-J. Thomson et le nombre 2,6 trouvé par Blondlot au moyen des oscillations; les méthodes statiques donnent des valeurs plus grandes.

La valeur moyenne de K pour la paraffine est 1,68. Divers expérimentateurs ont obtenu des nombres compris entre 1,68 et 2,32; au moyen des oscillations J.-J. Thomson a trouvé un nombre très voisin 1,8.

La moyenne générale des nombreuses observations faites avec le verre donne 3,76. Ce nombre est très voisin du nombre 3,9 trouvé

TABLEAU III.

VALEURS DE LA CONSTANTE DIÉLECTRIQUE DU VERRE.

EXPÉRIMENTATEURS.		K
Tscheglaïew	1891	2,26
J.-J. Thomson.	1890	2,7
Blondot. . . .	1891	2,8
Perot.	1892	2,71 à 6,33
Twing.	1894	5,84
Northrup . . .	1895	5,86
Lecher	1890	6,50 7,31

récemment par Beaulard (¹), mais il s'écarte notablement des valeurs obtenues par divers expérimentateurs qui cependant employaient les oscillations électriques. C'est ce que montre le tableau III dans lequel sont inscrites les diverses valeurs trouvées pour K.

TABLEAU IV.

LONGUEURS D'ONDE	VALEURS DE K.	
	d'après Perot.	d'après Mazotto.
5	3,7	»
10	4,8	3,30
15	5,6	3,65
20	6,0	3,57
25	6,3	3,66
30	1,5	3,75
35	»	3,86
40	»	8,96
45	»	3,97
50	»	3,90
55	»	3,84
60	»	3,80
65	»	3,77
70	»	3,69
75	»	3,72

Les nombres de la dernière colonne de chacun des tableaux I et II montrent que pour le verre la valeur de la constante diélectrique dépend de la longueur d'onde des oscillations

(¹) BEAULARD. *Comptes rendus*, t. CXIX, p. 268. — *La Lum. Elect.*, t. LIII, p. 285 (1894).

employées. Déjà M. Perot avait signalé l'augmentation de K avec la longueur d'onde. Les valeurs trouvées par ce physicien et par l'auteur sont données dans le tableau IV.

On voit que d'après les expériences de M. Mazotto l'augmentation de K avec la longueur d'onde est beaucoup moins rapide que l'augmentation trouvée par M. Perot et, en outre, que K passe par un maximum pour une longueur d'onde voisine de 45 cm.

J. B.

Contribution à la théorie de la désaimantation par E.-J. Houston et A.-E. Kennelly.

On sait que pour la conservation du magnétisme dans un aimant permanent certaines relations doivent exister entre la longueur et la section de la barre d'une part, et les dimensions de l'entrefer d'autre part. En d'autres termes, on sait qu'une certaine proportion de la réluctance du circuit magnétique doit exister dans l'entrefer pour une valeur donnée de la force coercitive.

M. Hookham indique dans le *Philosophical Magazine* pour 1889, t. XXVII, p. 187, que d'après ses observations le quotient de la longueur par la section transversale d'un aimant ne doit pas être inférieur à 70 fois le quotient correspondant pour l'entrefer, pour que la condition de permanence du magnétisme soit réalisée.

La théorie générale de la désaimantation dans les aimants permanents ne paraît pas avoir été développée; on n'a traité que certains cas particuliers appliqués à des formes géométriques que l'on rencontre rarement dans la pratique (ellipsoïde). Les auteurs se sont proposé de combler cette lacune.

Dans la figure 1, ABC représente un aimant en acier, de l cm. de longueur, et de section transversale uniforme s. La figure 2 représente une partie descendante de la courbe d'hystérésis de cet acier. Quand, après avoir aimanté l'anneau jusqu'à une induction de 6000 gauss, par exemple, on retire la force magnétomotrice, une certaine induction résiduelle de $\mathfrak{B}$ gauss subsistera dans l'aimant, et le flux résiduel sera de $\Phi = \mathfrak{B}\, s$ webers. Une

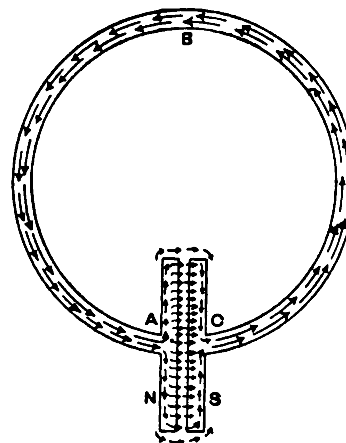


Fig. 1.

certaine fraction $\frac{\Phi}{n}$ ou φ de ce flux passera par l'entrefer, dont la longueur est de d cm., et la section active de S cm.², et produira dans cet entrefer une intensité de champ de $\frac{\varphi}{S}$ gauss.

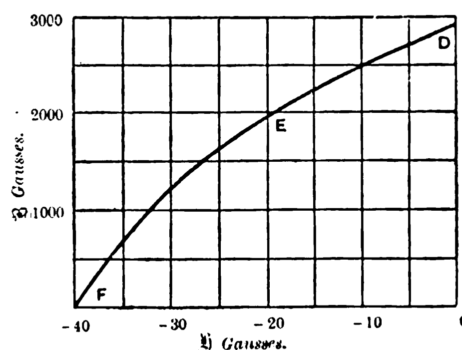


Fig. 2.

Le reste du flux passera dans l'espace ambiant extérieur à l'entrefer.

De même que dans le circuit électrique un courant de i ampères passant dans une résistance de r ohms produit une différence de potentiel de $e = ir$ volts, de même un flux de φ webers passant dans une réluctance de

(¹) *The Electrician*, 31 mai 1895.

$\mathcal{R} = \frac{d}{S}$ œrsteds dans l'entrefer y produit une différence de potentiel magnétique $\mathcal{M} = \varphi\, \mathcal{R} = \frac{\varphi d}{S}$ gilberts. La différence de potentiel moyenne par centimètre de longueur de l'anneau ABC sera $\mathcal{H} = \frac{\mathcal{M}}{l} = \frac{\varphi d}{Sl}$ gauss, expression représentant la force démagnétisante moyenne exercée dans l'aimant.

L'effet de cette force démagnétisante sera de réduire le flux jusqu'à ce que l'induction résiduelle $\mathcal{B} = \frac{n\varphi}{s}$ soit celle correspondant dans la branche descendante de la courbe d'hystérésis à la force démagnétisante $\mathcal{H} = \frac{\varphi d}{Sl}$. Dès que le flux résiduel descend à cette valeur, l'équilibre est atteint. Mais cet équilibre est instable, car toute agitation mécanique ou thermique du métal, en présence de cette force démagnétisante déterminera une désaimantation plus grande. Afin de soustraire l'aimant à l'action perturbatrice des petites variations de température, il est donc nécessaire de donner à la force démagnétisante une valeur de beaucoup inférieure à la valeur de $\mathcal{H}$ correspondant à l'induction résiduelle $\mathcal{B} = \frac{n\varphi}{s}$ dans la courbe descendante. Le rapport de cette dernière valeur de $\mathcal{H}$ à la valeur existant dans l'aimant peut être appelé le « coefficient de sécurité de la désaimantation ».

D'après les expériences des auteurs, un coefficient égal à 3 présente toute sécurité, et cette valeur peut s'obtenir en donnant à l'aimant et à l'entrefer des dimensions proportionnées à la courbe d'hystérésis particulière du métal employé.

Supposons, par exemple, qu'il faut choisir un entrefer de 0,5 cm. de longueur et 10 cm². de section; que l'induction résiduelle soit de 1 500 gauss dans l'acier et de 600 dans l'entrefer; que le coefficient de dirpersion magnétique soit $n = 1{,}3$ et que DEF (fig. 2) soit la courbe d'aimantation descendante du métal. On trouve alors $\varphi = 1\,500\, s = 600 \times 10 \times 1{,}3$, d'où $s = 5{,}2$ pour la section transversale de l'aimant. La valeur cyclique de $\mathcal{H}$ correspondant à $\mathcal{B} = 1\,500$ est 26, de sorte qu'avec un coefficient de sécurité $= 3$, la valeur requise est 8,7. La force magnétomotrice dans l'entrefer sera de $600 \times 0{,}5 = 300$ gauss, et la moyenne de $\mathcal{H} = \frac{300}{l} = 8{,}7$, de sorte que $l = 34{,}4$. La longueur de l'anneau doit donc être de 34,4 cm.

Dans ces conditions, avec une induction de 6 000 gauss créée dans l'aimant, une force magnétomotrice puissante se manifesterait au moment de la suppression de l'excitation. S'il restait, par exemple, 6 000 gauss dans l'aimant, l'intensité dans l'entrefer serait de 2 400 et la force démagnétisante de 34,8. Mais la figure 2 montre qu'une telle force démagnétisante réduirait l'induction résiduelle à environ 750 gauss, correspondant à une valeur de la force démagnétisante de 4,35 gauss. Il est donc évident que l'induction doit diminuer le long de la ligne DEF jusqu'à ce que l'équilibre entre l'induction et la force démagnétisante soit atteint. C'est ce qui aurait lieu dans l'exemple précédent pour $\mathcal{B} = 2\,250$ environ. C'est-à-dire que dans l'aimant abandonné à lui-même l'induction baisserait jusqu'à environ 2 250 gauss, et la force démagnétisante sélèverait à 13 gauss, et cet état instable serait probablement suivi d'une lente décroissance de l'induction sous des influences mécaniques ou thermiques.

Le procédé du recuit des aimants a donc pour but intentionnel d'abaisser l'induction au-dessous de l'intensité naturelle d'équilibre, de façon que la force démagnétisante résiduelle soit alors trop petite pour susciter une plus forte désaimantation, même avec la contribution de perturbations extérieures. Ainsi en chauffant l'aimant dans un bain d'huile, ou en élargissant momentanément l'entrefer, ou encore en le soumettant à des chocs, on peut réduire l'induction à 1 500 gauss avec une force démagnétisante correspondante de 8,7, qui est trois fois plus faible que la force cy-

clique nécessaire pour abaisser encore l'induction.

Si l'aimant n'est pas bien proportionné, il sera, après le recuit, ou trop lourd pour le travail exigé, ou trop faible en induction rémanente.

Puisque

$$\mathfrak{B} = \frac{n\varphi}{s} \qquad \text{et} \qquad \mathcal{H} = \frac{\varphi d}{Sl},$$

on a

$$\frac{1}{n}\frac{\mathfrak{B}}{\mathcal{H}} = \frac{Sl}{sd}.$$

Si donc on donne à $\mathfrak{B}$ une valeur déterminée, la valeur de $\mathcal{H}$ définie comme le tiers de la valeur cyclique correspondant à ce $\mathfrak{B}$ est avec ce dernier dans un rapport fixe, et $\frac{1}{n}\frac{\mathfrak{B}}{\mathcal{H}}$ est, pour les aimants de même forme et de même métal, une quantité numérique définie, représentée par le rapport de $\frac{l}{s}$ dans l'acier à $\frac{d}{S}$ dans l'entrefer.

D'après la formule de M. Hookham, ce rapport n'est pas inférieur à 70. En admettant que l'induction employée par lui ait été de 1 000, et que $n = 1{,}3$, alors $\frac{1\,000}{1{,}3\,\mathcal{H}} = 70$, ou $\mathcal{H} = 11$ environ, tandis que la valeur cyclique de $\mathcal{H}$ correspondant à $\mathfrak{B} = 1\,000$ était de 33 gauss ce qui donne un coefficient de sécurité = 3.

Dans les instruments Weston à aimants permanents, la précision dépend beaucoup de la permanence des conditions magnétiques. La longueur d'un certain aimant Weston est de 27 cm., sa section de 2,7 cm.². Il y a deux entrefers en série, chacun d'environ 0,275 cm. de longueur sur 11 cm² de section, et offrant par conséquent une réluctance d'environ 0,05 œrsted. L'induction dans l'acier est d'environ 1 250 gauss, et le flux total utile dans l'entrefer de 2 500 webers, ce qui donne une force contre-magnétomotrice de 2 500 × 0,05 = 125 gilberts, et pour la force démagnétisante moyenne $\frac{125}{27}$, ou 5 gauss environ. Pour une courbe d'hystérésis analogue à celle de la figure 2, on aurait ainsi un coefficient de sécurité égal à 6, et la qualité bien connue de ces instruments est due sans doute à un grand coefficient de sécurité.

A. H.

Loi possible du magnétisme résiduel dans le fer et l'acier, par E. Houston et A.-E. Kennelly (1).

Jusqu'à présent on ne connaît pas de relation définie entre l'induction magnétique maxima atteinte dans le fer et l'induction résiduelle après l'annulation de la force magnétomotrice. Les auteurs ont découvert dans l'étude des résultats expérimentaux publiés par le professeur Ewing qu'une relation linéaire semble exister entre ces quantités ; c'est-à-dire que $\mathfrak{B}$, l'induction maxima, et $\mathfrak{B}_0$ l'induction résiduelle du magnétisme rémanent, seraient liées l'une à l'autre par une relation de la forme

$$\mathfrak{B}_0 = a\,(\mathfrak{B} - c).$$

Par exemple, sur une série de cycles obtenus avec le même fer et publiés récemment par le professeur Ewing (2), les auteurs ont mesuré l'induction maxima atteinte et l'ordonnée à l'origine correspondant au point où, la force $\mathcal{H}$ étant redevenue nulle, la courbe coupe l'axe des $\mathfrak{B}$.

Voici les valeurs correspondantes :

$\mathfrak{B}$	$\mathfrak{B}_0$
1 200	700
1 930	1 300
2 630	1 960
4 270	3 350
5 200	4 220
6 610	5 500
7 480	6 200

$\mathfrak{B}_0$ porté en fonction de $\mathfrak{B}$ donne une droite exprimée par

$$\mathfrak{B}_0 = 0{,}88\ \mathfrak{B} - 400 \text{ gauss}.$$

A la page 106 de *Magnetic Induction in iron and other metals* d'Ewing, on trouve une figure donnant une série de cycles obtenus

(1) *Electrical World*, 1er juin 1895.
(2) *The Electrician*, 11 janvier 1895.

avec un fil de fer doux. Les valeurs qui en ont été déduites sont :

$\mathfrak{B}$	$\mathfrak{B}_0$
12070	9800
11900	9550
10620	8922
9048	7477
7288	5906
6032	4901
3896	3016
2262	1257

Or, ces valeurs se trouvent encore entre elles en relation linéaire donnée par :

$$\mathfrak{B}_0 = 0{,}88\ (\mathfrak{B} - 500)\ \text{gauss.}$$

A la page 109 du même ouvrage on trouve des cycles relatifs à un fil de piano, donnant les valeurs suivantes :

$\mathfrak{B}$	$\mathfrak{B}_0$
9426	7540
7540	5780
5655	4273
3645	2388
1508	691

Ces cinq observations sont très bien représentées par la formule

$$\mathfrak{B}_0 = 0{,}85\ (\mathfrak{B} - 700)\ \text{gauss.}$$

A la page 332 sont donnés des cycles pour de l'acier recuit. Il est à remarquer que ces cycles sont dissymétriques par rapport à l'origine. Les valeurs qu'ils fournissent sont :

$\mathfrak{B}$	$\mathfrak{B}_0$
5350	4120
5500	4400
4400	3200
2600	1250
2200	850

et la relation est représentée par

$$\mathfrak{B}_0 = 1{,}1\ (\mathfrak{B} - 1450)\ \text{gauss.}$$

Ici, la concordance avec la relation linéaire est très remarquable du fait de la dissymétrie des cycles.

Enfin, à la page 96 (fig. 44), on trouve des observations sur un fil de fer recuit, qui n'a pas été soumis à une intensité de champ alternative, mais à une série d'intensités de même sens. Or, les valeurs

$\mathfrak{B}$	$\mathfrak{B}_0$
15700	15000
14700	13700
14000	13000
11900	10900
6900	5550

tombent toutes sur la droite exprimée par

$$\mathfrak{B}_0 = 1{,}125\ (\mathfrak{B} - 1750\ \text{gauss.}$$

A. H.

VARIÉTÉ

UNE EXPÉRIENCE NÉGLIGÉE D'AMPÈRE

PAR SYLVANUS P. THOMPSON

Les dieux s'en vont, disent les sages;
La raison a tué la foi.....

Que d'illusions ce siècle d'investigations à outrance n'aura-t-il pas détruites. Grands capitaines, profonds politiques, littérateurs, savants, hommes de cour et gens de marque quelconque, tous passent au crible d'une critique de plus en plus serrée qui soulève la poussière des bibliothèques et fait sortir bien des dossiers de la moisissure dans laquelle ils risquaient de se perdre. On fouille, on scrute sans cesse; les mémoires succèdent aux notes, et les jugements aux mémoires. Est-ce un bien, est-ce un mal? Je penche plutôt pour le bien, si, comme je l'espère, l'exhumation de tant d'anciens documents ignorés ou oubliés est un acheminement vers la possession définitive de la vérité, si l'on ne puise pas à des sources soi-disant plus sûres mais originairement alimentées par un esprit de parti et exploitées également par un autre parti pris. Il est cependant pénible de constater que tant de travaux aboutissent presque toujours, volontairement ou non, et sous prétexte de reconstitution, à la démolition ou à l'amoindrissement de quelqu'un ou de quelque chose. Les illusions qui ont bercé notre jeunesse se perdent et pour être remplacées par quoi? le plus

souvent par le doute ou par une discussion qui ne sont ni une solution, ni une satisfaction pour l'esprit.

La science n'échappe pas à cette évolution, et, faute de pouvoir trouver eux-mêmes quelque chose, bien des chercheurs semblent prendre plaisir à reconstituer des antériorités et à prouver qu'il n'y a rien de nouveau sous le soleil. Chez d'autres il intervient une rivalité de clocher, et, tout en criant très haut « arrière » au chauvinisme, chacun revendique pour son pays les grandes idées qui ont contribué à faire le monde moderne. Heureusement encore dans bien des cas les adversaires sont tous deux de bonne foi, et il ne manque souvent à l'un que d'avoir lu assez attentivement et sans idée préconçue, dont il est souvent difficile ou pénible de s'affranchir, les documents sur lesquels il base son appréciation.

Tel est le cas d'une récente polémique ouverte dans ce journal par mon sympathique collaborateur, M. Pellissier, à propos de l'ouvrage de S.-P. Thompson sur « l'Électro-aimant », polémique sur laquelle j'aurai peut-être prochainement l'occasion de revenir et dans laquelle le jeune maître anglais, *dont les ouvrages sont toujours très bien documentés,* pourrait bien ne pas avoir tort, sans que la gloire de notre illustre Arago en fût pour cela ternie.

Aujourd'hui il s'agit d'autre chose qui, dans la bouche du savant étranger, tournerait plutôt à la gloire d'Ampère comme précurseur de Faraday, si mon chatouilleux ami ne pouvait dire : « L'expérience n'est citée que parce qu'il lui a manqué d'être poussée assez loin ou assez exactement interprétée pour devancer le grand physicien anglais. » C'est en effet le « *Vincere scis, Annibal; victoriâ uti nescis* ». Mais passons et instruisons-nous.

En 1822, nous dit M. S. H. Thompson (¹), Ampère se trouvant à Genève répéta devant de la Rive, dans son laboratoire, un certain nombre de ses expériences aujourd'hui classiques sur les actions des conducteurs parcourus par un courant sur d'autres conducteurs et sur des aimants. Le récit en est fait par A. de la Rive dans les *Annales de Chimie et de Physique*, XXI, p. 24 (1822).

(¹) *Philosofical Magazine*, juin 1895. — Note lue à la *Physical Society* le 26 avril 1895.

Parmi ces expériences il en est une qui a été presque oubliée, mais qui, si elle avait été menée plus loin, eût sans aucun doute conduit Ampère à devancer de quelques années, comme

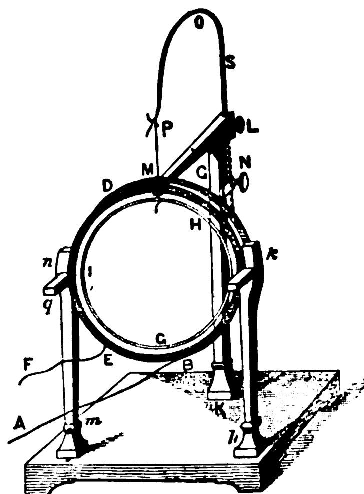


Fig. 1.

nous le disions plus haut, la grande découverte de Faraday sur l'induction.

L'expérience en question a été décrite pour la première fois par Ampère en octobre 1821 dans une lettre adressée à van Beck (¹). Elle avait été tentée au mois de juillet précédent; en voici la description textuelle donnée par Ampère lui-même :

« Ce que cette expérience prouve directe-
« ment, c'est que la proximité d'un courant
« n'en excite point, par influence, dans un cir-
« cuit métallique de cuivre, même dans les
« circonstances les plus favorables à cette in-
« fluence. Voici l'expérience que je fis alors
« pour m'en assurer : je formai avec un long
« fil de cuivre A B C D E F (fig. 1), revêtu d'un

(¹) *Journal de Physique*, t. XCIII, p. 447, octobre 1821, réimprimé p. 212, t. II de la « *Collection de Mémoires relatifs à la Physique, publiés par la Société française de Physique* », 1885.

« ruban, une spirale B C D E dont les tours « étaient séparés les uns des autres par la soie « de ce ruban ; je disposai cette spirale, comme « on le voit dans la figure 1, sur le pied en bois « *h k m n* ; les deux extrémités A et F de ce « fil communiquaient avec celles de la pile de « douze triades d'un pied carré, dont je me « suis servi pour la plupart de mes expé- « riences. La partie supérieure de cette spirale « était traversée par un petit tube en verre « M, passant entre les spires qui se trouvaient « les unes en avant et les autres en arrière « de ce tube ; un fil métallique très fin le tra- « versait sans en toucher les parois inté- « rieures ; il était attaché par un bout à la « potence K S O P, qu'on faisait monter ou « descendre à volonté en tournant le bou- « ton N, et qu'on arrêtait à la hauteur conve- « nable en serrant la vis de pression L ; le « cercle mobile G H I était suspendu au bout « du fil, de manière à être concentrique à la « spirale, située dans le même plan, et très « près des spires dont elle se composait. Le « pied *h k m n* portait en outre deux petites « règles *k*, *n*, *q*, sur lesquelles on pouvait « appuyer les aimants qui devaient agir sur « le cercle mobile. Cette disposition m'a paru « la plus convenable pour exciter dans ce « cercle des courants électriques par influence, « si cela était possible ; mais en le présentant « à l'action d'un fort aimant, je n'ai pas aperçu « qu'il prît aucun mouvement, malgré la « grande mobilité de ce genre de suspen- « sion. »

Ampère répéta en 1822 à Genève, avec un aimant plus puissant que lui prêta Pictet, l'expérience qui n'avait pas réussi en juillet 1821. De la Rive la décrit dans les termes suivants (¹) :

« La seconde expérience consiste dans l'in- « fluence qu'éprouve une lame de cuivre pliée « en cercle de la part d'une ceinture de forts « courants électriques au milieu desquels elle « est suspendue, et qui l'entourent sans la « toucher. Cette influence, que M. Ampère « avait d'abord crue nulle, a été, à Genève, « constatée par lui-même d'une manière très « précise. En présentant à un côté de cette « lame un aimant en fer à cheval très fort, on « l'a vue tantôt s'avancer entre les deux « branches de l'aimant, tantôt au contraire en « être repoussée, suivant le sens du courant « dans les conducteurs environnants. Cette « expérience importante montre donc que les « corps qui ne sont pas susceptibles, au moyen « de l'influence des courants électriques, d'ac- « quérir une aimantation permanente, comme « le sont le fer et l'acier, peuvent du moins « acquérir une sorte d'aimantation passagère « pendant qu'ils sont sous cette influence (¹). »

Cette note, textuellement répétée à la page 285 du « *Recueil d'observations* » d'Ampère, est absolument vague sur le point fondamental ; elle ne dit pas si les attractions et les répulsions observées se manifestaient uniquement aux moments où le courant variait. En la reproduisant exactement (même avec le renvoi relatif à l'appareil, et en la mettant à la première personne et la signant de son initiale « A »), Ampère accepta la version de de la Rive et l'explication de l'expérience de Genève. Néanmoins Ampère en donna lui-même une seconde version (²) douze jours après son retour à Paris. Ce document est

(¹) Travail lu devant la « *Société de Physique et d'Histoire naturelle de Genève* » le 4 septembre 1822 ; publié d'abord dans la *Bibliothèque universelle*, t. XXI, p. 29 (1822), puis dans les *Annales de Chimie et de Physique*, t. XXI, p. 47 (1822) ; reproduit par Ampère à la p. 202 de son « *Recueil d'observations électro-dynamiques* », 1822, et de nouveau dans la « *Collection de Mémoires* », t. II, p. 328 (1885).

(¹) « L'instrument dont M. Ampère s'est servi pour cette expérience est le même qu'il avait employé lorsqu'il l'essaya au mois de juillet *1820* ; il a été décrit et figuré dans le *Journal de Physique*. » [Ceci se réfère au *Journal de Physique*, t. XCIII, p. 447, décembre 1821, avec une planche représentant l'appareil. Le même appareil est représenté dans la fig. 17, planche VI, du « *Recueil d'observations électrodynamiques* d'Ampère (1822); et il est décrit à la p. 170 de cet ouvrage. Il y a ici une discordance de dates ; il est indiqué juillet 1820, tandis que la première date donnée par Ampère est juillet 1821. — S. P. T.].

(²) Mémoire présenté à l'Académie des Sciences, 16 septembre 1822 ; publié pour la première fois dans la « *Collection des Mémoires* » par la Société française de Physique (1885), t. II, p. 329.

resté enfoui jusqu'en 1885 dans les Manuscrits d'Ampère appartenant à l'Académie des Sciences. Nous en donnons le contenu :

« La troisième expérience avait pour objet « de savoir si l'on peut produire un courant « électrique par l'influence d'un autre courant. « Il y a plus d'un an que je l'avais tentée, « sans succès, avec l'appareil représenté « (fig. 1); mais j'ai réussi avec un appareil « absolument semblable, en employant l'excel- « lent aimant en fer à cheval du musée de « Genève, que m'avait procuré M. le profes- « seur Pictet. Voici la description de cette « expérience. » (Suit ici la description de l'appareil identique, presque mot pour mot, à celle donnée à propos de l'expérience manquée de juillet 1821.) « Le circuit fermé « placé sous l'influence du courant électrique « dédoublé, mais sans aucune communication « avec lui, a été attiré et repoussé alternati- « vement par l'aimant, et *cette expérience* « *ne laisserait*, par conséquent, *aucun doute* « *sur la production des courants élec-* « *triques par influence*, si l'on ne pouvait « soupçonner la présence d'un peu de fer « dans le cuivre dont a été formé le circuit « mobile. Il n'y avait cependant aucune » action entre ce circuit et l'aimant avant que « le courant électrique parcourût la spirale « dont il était entouré; c'est pourquoi *je* « *regarde cette expérience comme suffi-* « *sante pour prouver cette production ;* je « me propose néanmoins, pour prévenir toute « objection, de la répéter incessamment avec « un circuit formé d'un métal non magnétique « très pur. *Ce fait de la production de* « *courants électriques* par influence, très « intéressant par lui-même, est d'ailleurs « indépendant de la théorie générale de « l'action électro-dynamique [1]. »

On remarque une discordance entre la première et la seconde version, en ce que de la Rive dit que les attractions et les répulsions étaient en corrélation avec le sens du courant dans la bobine (ce qui pouvait ne pas être comme on le sait), tandis qu'Ampère ne dit rien du renversement du courant. Comme il attribuait d'ailleurs le résultat à la présence possible de fer, il est évident qu'il s'attendait à une action due à l'action continue du courant, et non pas à une action instantanée à son application ou à sa rupture. On sait aujourd'hui que les choses ont dû se passer ainsi, et qu'un courant invariable n'aurait pas produit des résultats tels que ceux décrits. Il est singulier que ce fait ait pu échapper à l'observation, non seulement d'Ampère, mais à celle d'un expérimentateur aussi minutieux que de la Rive. Mais l'explication du phénomène comme dû à une aimantation temporaire acquise par le métal non magnétique, explication donnée par de la Rive et *acceptée par Ampère* [1], est encore plus étrange. Si l'on n'avait jamais émis alors l'idée qu'une induction de courants sous l'action d'un aimant fût possible, il aurait pu être plus raisonnable d'admettre une explication attribuant les résultats à une sorte de magnétisme temporaire; mais Ampère avait déjà entrevu lui-même la possibilité d'une action inductrice, et il n'était pas seul imbu de ce sentiment. Fresnel avait, le 6 novembre 1820, annoncé à l'Académie des sciences qu'il avait décomposé l'eau à l'aide d'un aimant maintenu immobile dans une spirale de fil. Enhardi par cette déclaration, Ampère consigna qu'il avait également observé quelque chose d'analogue à la production de courants par un aimant. Mais avant la fin de l'année ces propositions furent retirées par leurs auteurs. Fresnel écrivit [2] dans les *Annales de Chimie* pour expliquer le cas. Il avait entouré un barreau aimanté en acier d'un fil de fer, dont les bouts plongeaient dans de l'eau, et sa communication du 6 novembre portait sur ce qu'il avait trouvé une des extrémités du fil de fer

(1) Les passages de cette lettre imprimés en italiques ont été soulignés par nous. (E. B.)

(1) Souligné par nous. (E. B.)

(2) *Ann. de Chim. et de Phys.*, XV, 1820, p. 219-222, « Note sur des essais ayant pour but de décomposer l'eau avec un aimant ».

décolorée et oxydée, tandis que l'autre était recouverte de petites bulles de gaz. Il reconnait maintenant que cette déclaration était prématurée, que la répétition de l'expérience n'avait pas confirmé les premiers résultats, et il ajoute ne pas croire au succès d'essais bien antérieurs de Ritter de décomposition de l'eau au moyen d'un aimant. En ce qui concerne M. Ampère, il ajoutait que celui-ci avait en effet constaté de légers mouvements d'une aiguille magnétique en l'approchant d'un circuit de fil de cuivre (laiton) dont une partie était bobinée en spirale autour d'un aimant, mais que ces mouvements ne se reproduisaient pas d'une façon constante; ces mouvements étaient d'ailleurs si faibles, disait-il, qu'Ampère n'aurait pas publié ses expériences si son succès, à lui Fresnel, qu'il tenait pour certain, ne l'avait pas convaincu que ces petits déplacements étaient également déterminés par un courant électrique dû à l'action de l'aimant sur la spirale dont il était entouré.

Ceci se passait en 1820, et il est certain que, en faisant en 1822 l'expérience de Genève, Ampère devait avoir dans l'esprit la possibilité de courants induits, et qu'*il a préféré l'explication d'une aimantation temporaire communiquée à la spire de cuivre* [1].

Dans l'intervalle, d'autres observateurs avaient essayé de reproduire l'expérience de Fresnel et avaient reconnu qu'elle était erronée.

Gilbert [2], après avoir résumé la prétendue découverte de Fresnel, dit avoir répété l'expérience sans constater la moindre décoloration du fil de fer, et en conclut que sa communication était prématurée. Pohl [3] arriva à une conclusion identique.

Un an ou deux plus tard, quand les rotations d'Arago sollicitaient l'attention des expérimentateurs, Becquerel [1] se livra à des recherches sur le magnétisme supposé de certains corps dont il suspendait de petits fragments au lieu de l'aiguille magnétique habituelle, à l'intérieur d'une bobine multiplicatrice, en observant alors s'ils se mouvaient ou non sous l'application d'un courant. Il constata des traces d'action magnétique dans des aiguilles faites de peroxyde de fer, de cuivre, de bois, et même de gomme-laque. Après avoir décrit ses propres expériences, il fait allusion en ces termes (p. 272) à l'expérience d'Ampère à Genève :

« Il résulterait de cette expérience, vu l'ac- « tion semblable exercée par les deux pôles « de l'aimant en fer à cheval sur une même « portion du circuit, que l'influence du cou- « rant électrique aurait développé dans la « lame un autre courant électrique, tel « qu'on en observe dans un fil métallique « qui communique avec les deux pôles « d'une pile voltaïque; mais M. Ampère « s'est assuré depuis, qu'il n'en est pas « ainsi. » Par quel moyen Ampère s'est-il assuré entre temps qu'il n'y avait pas de courants d'induction? c'est ce que ne dit pas Becquerel.

En 1831 survinrent les découvertes par Faraday de l'induction de courants par des aimants, de l'induction de courants par d'autres courants et de la cause des rotations d'Arago. On trouvera dans les *Annales de Chimie* de décembre 1831 une série de notes [2] sur ces découvertes. Il est curieux de voir alors comme les vues changent. La communication du 23 janvier 1832 de Becquerel et d'Ampère à l'Académie des Sciences paraît tout au long avec des extraits du travail de Faraday et un compte rendu des expériences de Nobili et d'Antinori. C'est un précis de faits observés par Becquerel, et un autre de faits dignes d'attention signalés

(1) Souligné par nous. (E. B.)
(2) Gilbert, *Ann.*, XLVI, p. 410.
(3) *Isis* d'Oken, 1822, part. IV, p. 407. Voir également des remarques signées « P » à la fin d'un article de Savary dans les *Annales de Poggendorff*, VIII, p. 368 (1826).

(1) *Ann. de Chim. et de Phys.*, XXV, p. 269.
(2) *Ann. de Chim. et de Phys.*, XLVIII, 1831, p. 405-428; voir également *Ann. de Pogg.*, XXIV, 1832, p. 612, et notamment, p. 614.

par Ampère. A la suite on trouve les « Expériences sur les courants électriques produits par l'influence d'un autre courant », par M. Ampère. Cet article donne une troisième version des expériences de Genève.

« Pendant mon séjour à Genève au mois de « septembre 1822. M. Auguste de la Rive « voulut bien m'aider dans les expériences « que je désirais faire sur la production « d'un courant électrique par l'influence « d'un autre courant... Nous présentions à « ce cercle un fort aimant en fer à cheval, de manière qu'un de ses pôles se « trouvait au dedans et l'autre au dehors « du cercle. Dès que nous faisions com« muniquer avec la pile les deux extrémités « du fil conducteur, le cercle était attiré ou « repoussé par l'aimant, suivant le pôle qui « répondait à l'intérieur du cercle : ce qui « démontrait l'existence du courant élec« trique qui y était produits par l'influence « du courant du fil conducteur. La décou« verte que vient de faire M. Faraday « des courants électriques produits par l'in« fluence d'un aimant, courants qu'avait « obtenus Fresnel en 1820, mais qu'il « n'avait pas crus suffisamment constatés « par ses expériences, m'a porté naturelle« ment à employer le galvanoscope mul« tiplicateur, dont l'illustre chimiste anglais « a fait usage, pour constater de nouveau « et étudier dans toutes ses circonstances « la production d'un courant électrique par « un autre courant. »

Ampère paraît avoir estimé que l'oxydation signalée tout d'abord par Fresnel était due à des courants d'induction déterminés par les variations diurnes du magnétisme de l'aimant permanent. Mais il est évident que les forces électromotrices d'une origine de ce genre seraient d'un ordre de grandeur absolument hors de proportion avec le résultat obtenu. De plus, comme ces courants auraient dû nécessairement changer de sens avec l'élévation et l'abaissement de la température, l'action chimique totale n'aurait en fin de compte nullement dépendu des charges intermédiaires mais bien et uniquement de la différence entre les températures initiale et finale Par suite, l'impulsion électromotrice totale n'aurait pu être qu'infinitésimale comparativement à celle due au simple éloignement de l'aimant une fois pour toutes par rapport au circuit. La troisième version diffère des précédentes dans la description de la position de l'aimant et en ce qu'elle dit que cet aimant (qui, dans l'expérience originale d'Ampère, était approché après l'application du courant) était mis en position *avant* la fermeture du circuit.

Depuis cette époque l'expérience d'Ampère semble avoir été laissée dans l'oubli. Il n'en est fait mention qu'une seule fois en 1872 et pour en donner une quatrième version, non seulement différente des trois autres, mais accompagnée du dessin et de la description d'une forme d'appareil bien différente. On trouvera cette description, due à la plume généralement si autorisée de Verdet, à la page 357 de ses *Conférences de Physique* bien connues. Voici comment il s'y exprime : —

« 209. — *Expérience d'Ampère et de la « Rive.* — Longtemps avant l'époque où Fa« raday fit la découverte de l'induction, Am« père et de la Rive[1] avaient fait une expé« rience relative à ces phénomènes et qu'ils « n'avaient pas comprise. Ces physiciens « cherchaient s'il y avait une action des « courants sur des conducteurs placés à dis« tance, par analogie avec les effets d'in« fluence de l'électricité ordinaire; ils entre« prirent une série d'expériences avec l'idée « préconçue que le phénomène produit par « le passage du courant dans un conducteur « voisin serait permanent, c'est-à-dire per« sisterait pendant tout le temps que le « courant traverserait le conducteur; ayant « au contraire observé un phénomène instan-

[1] *Bibliothèque universelle*, septembre 1822, et *Annales de Chimie et de Physique*, [2], t. XXI, p. 47 1822), et t. XXV, p. 272 (1824).

« tané, ils regardèrent ce résultat comme un « fait singulier ne méritant pas une étude « ultérieure. Voici en quoi consistait leur « expérience : un fil fin de cuivre enroulé « en anneau A (fig. 2) était suspendu à un fil « de soie sans torsion OC, devant la base d'un « électro-aimant BB', de manière que les « plans des spires de l'électro-aimant fussent « parallèles au plan de l'anneau. A l'instant « où le courant était lancé dans l'électro- « aimant, l'anneau était repoussé ; mais « cette déviation ne persistait pas, et bien- « tôt le fil revenait rigoureusement à la « verticale. Si l'on interrompait le cou- « rant, on observait une attraction aussi « peu persistante que la répulsion.

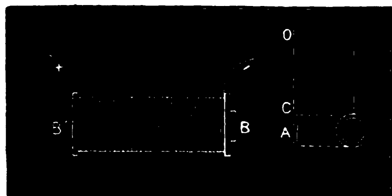


Fig. 2.

L'anachronisme consistant à représenter un électro-aimant à fer doux comme employé en 1822 est la partie la plus étrange de cette description. Mais l'expérience telle qu'elle est décrite par Verdet est intéressante ; c'est une sorte d'avant-coureur des actions observées en 1884 par Boys [1] et en 1887 par Elihu Thomson.

J'ai répété, dit en terminant, le professeur Thompson, l'expérience d'Ampère sous la forme originairement indiquée par de la Rive. Elle est très facile à réaliser; mais le moment d'inertie relativement élevé du cercle de cuivre masque l'effet purement passager de l'impulsion que reçoit la boucle de fil chaque fois que le courant est lancé dans la bobine extérieure ou qu'il y est interrompu.

Loin de moi la pensée ou, pour mieux dire, l'outrecuidance d'entamer une discussion avec l'excellent ami que j'ai le plaisir d'avoir et le savant érudit que je respecte en la personne de M. S.-P. Thompson. Mais, en m'adressant cette note que je me plais à reproduire ici, il m'a, dans une certaine mesure, donné le droit de l'apprécier. Or, en la lisant avec tout l'intérêt qu'elle mérite et qu'elle inspire, je me suis demandé par quel sentiment, autre qu'une curiosité historique, cette Note dont le titre ferait croire à une tardive réparation, a été dictée. Malgré un récent dictionnaire électrique, peu méchant, qui donne Faraday comme un « illustre physicien *français* » et dont j'ai relevé ailleurs les multiples erreurs, nul en France n'a jamais songé, ni ne songe à toucher à la gloire de cet immense savant; nul ne cherche à jeter des pierres dans le jardin scientifique de l'Angleterre. Pourquoi donc cette susceptibilité apparente? Ce travail rehausse-t-il d'une coudée la grandeur d'un génie? Rabaisse-t-il d'autant celle d'un autre? — Nullement. Je dirai même que la Note si curieuse du professeur Thompson n'est pas faite pour nous déplaire. Elle démontre que, dès 1820 et 1821, des esprits de la valeur de Fresnel et d'Ampère avaient fait plus qu'entrevoir, non pas les lois, mais le principe du phénomène de l'induction. Les passages de cette Note que nous avons soulignés montrent qu'Ampère ne se méprenait pas sur la cause probable des faits par lui observés, et que sa modestie seule lui faisait regarder à deux fois avant de poser un principe d'aussi vaste portée et le poussait à rechercher s'il n'y avait pas une autre cause *possible* à ces faits.

Que son expérience de 1821 n'ait pas été poussée assez loin, qu'elle ait été conduite avec toute l'inexpérience de l'époque et interprétée avec toute la méfiance de soi-même, premier instinct d'un homme sérieux, que les résultats en aient été masqués par une conception mal définie et des dispositions défectueuses, il n'y a aucun doute à cet égard. Qu'Ampère ait ensuite désavoué ces résultats comme ne se présentant pas assez nettement à son esprit pour être hautement proclamés

(1) « A Magneto-electric Phenomenon » (Un phénomène électromagnétique), *Proc. Phys. Soc.*, t. VI, p. 218, 1884; *Phil. Mag.* [5], XVIII, p. 216.

avec toute l'autorité qui s'attachait à son nom, je ne puis voir là que les hésitations consciencieuses d'un grand savant et honorer une réserve qui n'a pas toujours été assez pratiquée.

Dix ans plus tard, après l'immortelle découverte de Faraday, les choses changent, dit M. Silvanus Thompson. — Mais en quoi? Est-ce pour revendiquer une partie de son illustration? — Point. C'est, au contraire, pour lui rendre hommage : « *La découverte que vient de faire M. Faraday* », dit Ampère, ce qui l'amène à se remémorer et à rappeler ce qu'il a fait lui-même antérieurement et à mieux s'en préciser alors à lui-même les données et les résultats mal compris.

Tout cela est fort honnête et à l'honneur de tous. Ampère est Ampère et Faraday reste Faraday. Tout le monde est content.

Quant à l'anachronisme relatif à l'électro-aimant, très justement relevé dans Verdet, je ne veux y voir qu'une interprétation à la moderne d'une expérience antérieure, à moins que Verdet, comme tant d'autres, alors et aujourd'hui, n'attribuât à Arago la découverte de l'électro-aimant.

E. BOISTEL.

BIBLIOGRAPHIE

Traité élémentaire d'électricité, par J. JOUBERT, inspecteur général de l'Université. — 1 vol. in-8° de 565 pages et 379 figures. *G. Masson*, 120, boulevard Saint-Germain, éditeur, 1895 (3e édition).

La rapidité avec laquelle se sont enlevées les deux premières éditions de cet ouvrage nous dispense d'en faire l'éloge ; d'un autre côté son analyse peut se résumer en ces quelques mots : il contient, sous une forme condensée tout ce qu'il est indispensable de connaître en électricité. Nous pourrions donc nous contenter de le rappeler au souvenir de nos lecteurs qui, pour la plupart, le connaissent déjà, si nous n'avions à signaler quelques modifications et de nombreuses additions au texte des éditions antérieures.

Le chapitre consacré aux *courants alternatifs et oscillations électriques* a subi d'importants remaniements. Comme dans la première édition, il débute par l'étude du courant sinusoïdal obtenu par la rotation d'un cadre dans un champ magnétique uniforme. Après y avoir donné les définitions de la phase, du retard, de la résistance apparente ou impédance, de la période, de la fréquence, de l'intensité et de la force électromotrices efficaces d'un courant variable, l'auteur examine le cas intéressant où le circuit parcouru par un courant alternatif est fermé sur un condensateur, puis l'action d'un tel courant sur un circuit voisin et la distribution de ce courant dans le circuit même qu'il parcourt. Passant ensuite aux oscillations électriques, il expose brièvement les expériences de Lodge et celles de Hertz, étudie la propagation du mouvement vibratoire produit par un excitateur, décrit le résonateur de Blondlot, la méthode de ce dernier physicien pour la mesure directe de la vitesse de propagation et enfin résume les nombreuses expériences faites sur les rayons de force électrique.

Mais ce chapitre n'est pas le seul qui ait été modifié. Dans le chapitre consacré aux *machines à courants alternatifs* nous constatons la présence de quelques paragraphes nouveaux relatifs aux moteurs synchrones et asynchrones, aux moteurs à champ tournant et aux courants polyphasés et dans tout le reste de l'ouvrage, particulièrement à propos des diélectriques et du magnétisme induit, nous trouvons bon nombre de modifications qui montrent le souci qu'a l'auteur de maintenir son *Traité d'électricité* au niveau des plus récents progrès.

J. BLONDIN.

OUVRAGES REÇUS

Électricité. — Théorie et applications, par F. RODARY, ancien élève de l'Ecole polytechnique, ingénieur civil des mines, sous-chef de division (services techniques) aux chemins

de fer de Paris à Lyon et à la Méditerranée. Un vol. grand in-8° de 520 pages. *Vve Ch. Dunod* et *P. Vicq*, éditeurs, 1895.

Théorie analytique de la propagation de la chaleur. Leçons professées à la Sorbonne pendant le premier semestre 1893-1894, par H. POINCARÉ, membre de l'Institut, rédigées par ROUYER et BAIRE, élèves de l'Ecole normale supérieure. Un vol. gr. in-8° de 316 pages. *G. Carré*, éditeur, 1895.

Jahrbuch der Electrochemie (Annuaire d'Electrochimie), par le Dr W. NERNST (partie scientifique) et le Dr W. BORCHERS (partie technique). Un vol. in-8°. *Wilhelm Knapp*, éditeur, Halle, 1895.

Manuale di Magnetismo ed Ellettricita (*Manuel de magnétisme et d'électricité*), par Giuseppe POLONI, professeur de physique à l'Université de Modène; seconde édition revue par Francisco GRASSI professeur de physique à la Société d'encouragement des Arts et Métiers de Milan. Un vol. in-16, de 370 pages; *Ulrico Hœpli*, éditeur, Milan, 1895.

Leçons sur la production industrielle de l'énergie électrique par E. GOSSART, docteur ès sciences, chargé du cours d'électricité industrielle à la Faculté des sciences de Bordeaux. Un volume lithographié, in-8 de 302 pages; *J. Laurens*, éditeur, Bordeaux 1895.

CHRONIQUE

La téléphonie aux États-Unis. — L'*American Bell Telephone Company* vient de publier son quinzième rapport annuel relatif à l'année 1894. Nous en extrayons les renseignements les plus intéressants en ajoutant entre parenthèses les chiffres se rapportant à 1893.

On sait que cette Compagnie loue ses appareils aux abonnés. Pour un poste téléphonique complet on compte deux à trois appareils (au moins un microphone et un téléphone). Le nombre des appareils ainsi loués est de 582506 (566491).

La Compagnie Bell et ses Compagnies alliées possédaient au 1er janvier 1895 867 (838) bureaux centraux, 572 (571) bureaux auxiliaires, 373 533 (345 628) km. de lignes sur poteaux, 23 385 (26 552) km. de lignes fixées sur des constructions, 238 738 (194 286) km. de lignes souterraines, 2 988 (2 635) km. de lignes souterraines, soit au total 638 634 km. de lignes téléphoniques, ou 69 543 km. de plus que l'année précédente. On remarquera la diminution des lignes fixées sur des bâtiments et le grand nombre de lignes souterraines, 37,4 p. 100 de toutes les lignes téléphoniques des États-Unis.

Le nombre total des abonnés était de 212 074 (205 891), le nombre total des postes téléphoniques de 243 432 (237 186). On compte donc un poste téléphonique pour environ 266 habitants. Nous sommes loin de ce chiffre en France.

Le nombre total des conversations établies téléphoniquement en 1894 est évalué à 670 millions, le nombre moyen journalier par abonné oscillant entre 2 1/2 et 24. Pour les États-Unis, le nombre moyen est de 8 1/2 par jour soit une augmentation de 6 1/4 p. 100 sur l'année précédente. Le nombre moyen des communications interurbaines était par jour de 38 324, ou environ 12 millions pour l'année entière.

Le 1er janvier 1886, six grandes villes avaient commencé à placer leurs lignes téléphoniques en souterrain, et cette transformation avait été effectuée à cette époque pour les longueurs suivantes; Boston 465 km., Brooklyn 215 km., Chicago 1 223 km., New-York 1 009 km., Pittsburg 989 km., et Washington 1 596 km. Au 1er janvier 1895, 58 villes américaines possédaient ensemble 238 738 km. de lignes souterraines, auxquelles il faut ajouter 1 998 km. de lignes interurbaines de l'American Telephone and Telegraph Co. L'augmentation dans la dernière aunée est de 44 452 km.

Le circuit entièrement métallique est de plus en plus employé. 54680 abonnés possédaient des lignes doubles, soit 17 032 de plus que l'année d'avant.

Les dépenses totales de la Compagnie Bell ont été d'environ 8 625 000 (9 275 000) fr., les recettes totales de 24 500 000 (28 900 000) fr., de sorte que le bénéfice net est d'environ 15 675 000 (19 625 000) fr., soit 65 fr. par abonné.

Si l'on songe qu'à cette somme de 65 fr. pour

chaque abonné s'ajoute encore le bénéfice net des Compagnies locales, bénéfice quelquefois de beaucoup supérieur à la première somme, on conçoit que les demandes d'abaissement des taxes qui se produisent aux États-Unis sont justifiées jusqu'à un certain point. Déjà dans plusieurs villes on a dû réduire les taxes de 10 à 35 p. 100.

Ces diminutions ont été en grande partie consenties sous l'influence de la crainte qu'inspire à la puissante Compagnie Bell, la concurrence d'une nouvelle grande compagnie qui vient de se former, la Standard Telephone Co. Déjà, des Compagnies locales ont été formées par celle-ci, et l'on peut prévoir une lutte acharnée entre les deux rivales. La nouvelle Société possède, paraît-il, vingt-cinq brevets importants, parmi lesquels le brevet Kellogg pour commutateurs multiples. Sans ce dernier, la Compagnie serait dans l'impossibilité d'exploiter de grands bureaux téléphoniques parce que la Compagnie Bell s'est approprié tous les autres brevets sur ce domaine.

Le rendement financier des usines d'électricité n'est pas déjà si brillant que les municipalités puissent leur imposer des charges très lourdes, et si à ce sujet on peut avoir à se plaindre en France, que dira-t-on des conditions dans lesquelles la Société générale d'électricité de Berlin vient de se charger d'établir une station centrale à Magdebourg? Tout d'abord, l'entrepreneur est obligé de louer le terrain au prix annuel de 1,25 fr. par mètre carré. La ville se réserve 10 p. 100 des recettes brutes, et de plus une partie du bénéfice net; au bout de dix ans déjà, la ville peut exercer le droit de rachat. Avec tout cela, la ville se réserve le droit de surveillance des travaux, et celui d'accorder des concessions parallèles à d'autres Sociétés. Elle fixe le prix de vente du kilowatt-heure à 87,5 centimes pour l'éclairage et à 25 centimes pour la force motrice, sans préjudice des rabais à consentir aux gros consommateurs.

Microphone vibratoire. — Le nombre des microphones inventés depuis l'appareil du professeur Hughes est aussi grand que les principes mis en usage dans ces appareils sont peu nombreux. La grande majorité des transmetteurs microphoniques peuvent être classés en deux catégories : microphones à plaques ou baguettes de charbon et microphones à grenaille. Ces derniers sont aujourd'hui les plus employés dans la pratique, malgré l'inconvénient qu'ils présentent de diminuer de sensibilité à mesure que la grenaille se tasse.

Le nouveau microphone dû à M. Jacques, de Newton, appartient à cette dernière catégorie; mais il est basé sur une idée assez originale qui nous engage à en donner une courte description. On a remarqué que sous l'action d'un courant intense la grenaille de charbon entre en vibration, et dans cet état, le microphone est très sensible à toutes les variations de pression du diaphragme qui recouvre la boîte à grenaille. Cette dernière forme un ensemble d'une très grande élasticité. Grâce à cette propriété, l'onde électrique produite par l'onde sonore reproduit très fidèlement toutes les particularités de celle-ci, tandis que dans les microphones à pression entre surfaces fixes, la variation électrique n'est qu'une image grossière de l'ondulation sonore. Comme la fréquence de vibration des grains de charbon est d'ailleurs bien supérieure à celle des ondes sonores, sur les longues lignes, les ondulations électriques correspondantes sont totalement amorties avant d'atteindre la station réceptrice.

La construction de ce microphone diffère peu de celle de ses congénères. La grenaille de charbon ne doit pas être d'une grosseur supérieure à 0,5-0,7 mm.

Comme il est nécessaire d'éviter que les vibrations électriques rapides résultant de l'agitation de lagrenaille aient une action nuisible sur le téléphone récepteur de la station transmettrice elle-même, on se sert du montage différentiel usité en télégraphie : une dérivation prise sur le circuit induit de la bobine d'induction passe autour de l'aimant du récepteur, et cet enroulement auxiliaire agit en sens contraire de l'enroulement principal. Les vibrations locales sont ainsi compensées.

Installation de phares. — Le Consul de France à Manille communique les renseignements suivants sur le projet d'installation de trois phares aux îles Philippines.

L'intendance générale à Manille met en adjudication la construction de trois phares dans la province de Cébu et dans celle de Boliol. Les devis s'élèvent respectivement à 29 624, 30 269 et 29 358 pesetas.

L'Éditeur-Gérant : GEORGES CARRÉ.

Paris. — Imprimerie L. MARETHEUX, 1, rue Cassette.

Tome IV. **Samedi 13 Juillet 1895.** **2e Année. — N° 28.**

L'Éclairage Électrique

REVUE HEBDOMADAIRE D'ÉLECTRICITÉ

DIRECTEUR SCIENTIFIQUE : J. BLONDIN

SECRÉTAIRE DE LA RÉDACTION : G. PELLISSIER

CHEMINS DE FER ET TRAMWAYS ÉLECTRIQUES

I. — CHEMINS DE FER.

Nous avons déjà signalé, à différentes reprises, les essais d'application de la traction électrique aux chemins de fer. La période pratique semble s'ouvrir; en France et en Amérique, de puissantes locomotives sont en construction et seront bientôt en opération. La Compagnie de l'Ouest mettra d'ici peu en exploitation des locomotives Heilmann et va installer la traction électrique sur ses voies à Saint-Germain-en-Laye. La Compagnie Paris-Lyon-Méditerranée fait construire une locomotive électrique à accumulateurs chez Sautter Harlé et Cie.

En Amérique, outre les applications déjà citées dans le journal, la puissante Compagnie Baldwin Locomotive Works vient de construire une locomotive électrique dont M. Cary E. Hutchinson a donné dernièrement la description [1]. Cette locomotive, qui a 9,15 m. de longueur totale a 8 roues motrices couplées par des barres latérales; l'écartement des roues extrêmes est de 4,90 m. environ. Le poids total, de 60,454 tonnes, est uniformément réparti sur les 8 roues motrices. Il y a quatre moteurs, un sur chaque axe; ils sont montés directement sur les axes, sans l'interposition d'aucun ressort. La puissance reconnue, après des essais qui ont duré quatre heures, est de 1 000 chevaux; la vitesse dans ces essais était de 56 km. à l'heure. La régulation de la vitesse se fait par le groupement des moteurs soit en série, soit en dérivation; les moteurs peuvent être mis :

1° Tous les quatre en série;

2° En deux séries de deux moteurs en dérivation;

3° Tous les quatre en dérivation.

Une résistance extérieure peut en outre être intercalée dans le circuit des moteurs au moment du démarrage. La plus faible vitesse, avec le groupement (1°), sans aucune résistance interposée est d'environ 11 km. à l'heure.

Lors des essais récemment effectués aux usines Baldwin, le rendement a atteint 92 p. 100 lorsque la locomotive développait une puissance de 1 000 chevaux; les moteurs sont disposés de façon à ne pas donner d'étincelles aux balais, lors même que, le courant dans l'armature restant le même, l'intensité du champ magnétique est diminuée de moitié. La vitesse pourra donc varier, pour une même puissance dépensée, entre 56 km. et 105 km. environ, suivant que la charge traînée sera plus ou moins grande. La douceur du mouvement et l'absence de vibrations furent particulièrement remarquées lors des essais; la

[1] Transactions of the American Institute of Electricial Engineers, n° de mars 1895.

machine entière était supportée sur quatre vérins, sans aucun lien ; à pleine vitesse, on pouvait à peine percevoir les secousses.

La locomotive construite par la General Electric Company pour la traction des trains de voyageurs sur les voies du Baltimore and Ohio Railway, dans le tunnel qui passe sous la ville de Baltimore, ne pèse pas moins de 90 tonnes.

Elle est montée sur 12 roues; les dispositions générales sont à peu près semblables à celles de la locomotive de 30 tonnes déjà construite par la même Compagnie; chaque paire de roues est munie d'un moteur, dont l'armature est montée directement sur l'axe; il y a trois trôlets, afin d'assurer la continuité du contact avec le conducteur du courant.

Les trains qui passent dans ce tunnel exigent de puissantes locomotives, et depuis longtemps, les voyageurs se plaignaient des nombreuses incommodités que leur faisaient endurer la fumée, la vapeur et le bruit; c'est ce qui a engagé la Compagnie à faire construire cette locomotive. Lorsque les trains approcheront du tunnel, la locomotive électrique sera couplée à l'avant de la locomotive à vapeur et celle-ci sera inactive pendant toute la traversée du tunnel.

D'un autre côté, on annonce que la New-York Central Railroad Company se propose d'introduire la traction électrique par trôlet sur la partie de ses lignes allant de Niagara Falls à Buffalo ; le nombre de trains est assez faible actuellement, entre ces deux villes, et les voies peu encombrées ; il sera donc possible de faire circuler des trains rapides à départs fréquents, pour desservir le trafic local, ce qui aurait été à peu près impossible avec la traction à vapeur.

La puissance électrique sera fournie par la Niagara Falls Power Company. Des voitures-observatoires seraient construites afin de donner aux voyageurs une vue superbe sur les rapides et les chutes. La vitesse serait au moins égale à celle des trains à vapeur et, d'après les estimations, les prix pourraient être diminués ; le confort et le luxe des wagons, l'absence de fumée et d'escarbilles, la douceur du mouvement ne manqueront pas d'attirer sur cette ligne de nombreux voyageurs.

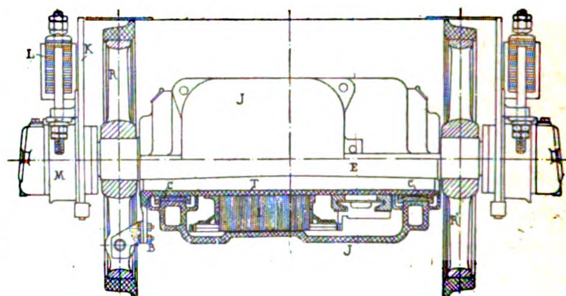


Fig. 1. — Suspension et accouplement élastiques J.-J. Heilmann.

Pour éviter que les chocs ne se transmettent directement à l'axe du moteur, *M. J.-J. Heilmann*, emploie, dans sa locomotive électrique, le mode suivant de suspension et d'accouplement élastique (fig. 1 et 2).

L'armature I du moteur est fixée sur un arbre creux T dont le diamètre intérieur est

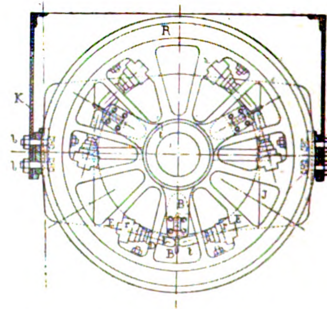


Fig. 2. — Suspension et accouplement élastiques. J.-J. Heilmann.

égal au diamètre extérieur de l'axe E des roues motrices plus la valeur de l'élongation des ressorts de suspension L. L'arbre creux T tourne dans les paliers CC, solidaires de la carcasse des inducteurs J qui est elle-même fixée à la carcasse de la voiture, suspendue sur les ressorts L.

L'entraînement des roues motrices se fait

au moyen d'un certain nombre de plaques B, solidaires de l'arbre T et qui viennent s'engager, chacune entre les rayons des roues, entre deux tampons *tt*; ces tampons traversent les rayons des roues D et E, et compriment les ressorts *rr*. L'extension des ressorts *r* est suffisante pour permettre leurs mouvements sous l'effort du démarrage et leurs mouvements sous l'influence des vibrations, c'est-à-dire qu'elle est égale à l'extension des ressorts de la voiture, plus celle qui correspond à l'effort de démarrage. La présence des deux tampons identiques, permet d'entraîner les roues dans une direction ou dans l'autre.

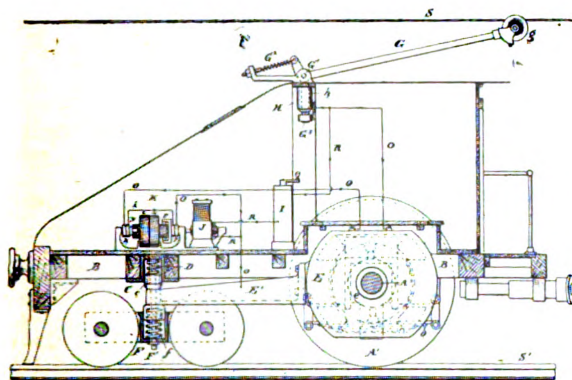


Fig. 3.
Locomotive R.-M. Hunter. Coupe longitudinale.

Dans la locomotive de *R.-M. Hunter* (Thomson Houston Electric Company), un seul des axes A situé à l'arrière (fig. 3, 4, et 5) est moteur; il est muni de roues de grand diamètre A'A'. L'avant est soutenu par un boggie à 4 roues F, pivoté en F'. Afin d'augmenter l'adhérence qui serait très faible avec cette disposition, les détails de construction ont été combinés de façon à porter la presque totalité du poids sur l'axe A : la carcasse B repose sur l'axe A par des supports et des ressorts en lames *b*; c'est une disposition analogue à celle qui est employée, dans les locomotives à vapeur, pour le support de la chaudière. La partie antérieure de la carcasse est pivotée sur la cheville ouvrière F'; la stabilité de l'ensemble est ainsi assurée, tout en permettant l'incurvation facile de la locomotive. Le moteur E repose directement sur l'arbre A. L'armature T est clavetée directement sur l'arbre; les inducteurs U sont contenus dans une enveloppe métallique qui est traversée en des paliers *e e* par l'axe A; afin d'éviter que

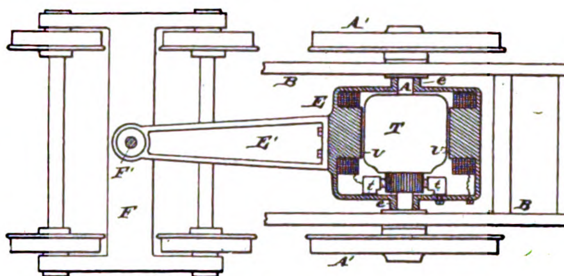


Fig. 4.
Locomotive R.-M. Hunter. Coupe horizontale.

les inducteurs puissent entrer en rotation ils portent un bras E' qui vient se fixer sur la cheville ouvrière F'; le couple moteur qui tend à faire tourner les inducteurs est de sens opposé à celui de l'armature; il tend donc à soulever les bras E', ce qui a pour effet de

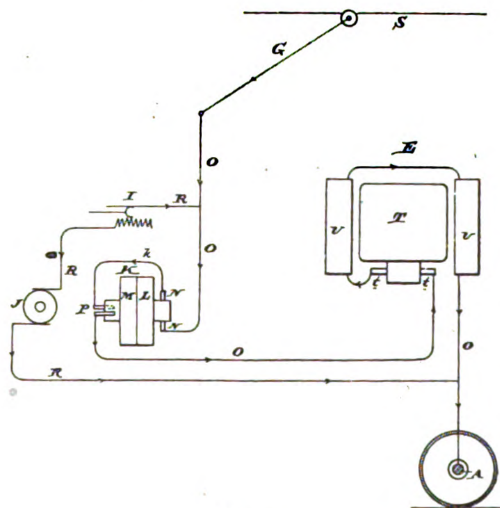


Fig. 5.
Locomotive R.-M. Hunter. Schéma des circuits.

reporter la majeure partie du poids sur l'axe moteur.

Le réglage de la vitesse se fait de préférence en intercalant entre le trôlet G et le moteur E une force contre-électromotrice variable. Les figures 3 et 5 représentent clairement un des

dispositifs proposés. Le courant passe du conducteur aérien positif dans le circuit O du moteur, puis dans la carcasse E et de là aux rails qui forment le circuit de retour. Le circuit O du moteur comprend le moteur E, enroulé en série et le régulateur K. Celui-ci est disposé de façon à produire une force contre-électromotrice variable, indépendante de celle du moteur; il se compose essentiellement d'une carcasse magnétique munie de deux enroulements Gramme L et M ayant chacun leur collecteur et leurs balais séparés ; ceux-ci sont décalés les uns par rapport aux autres, d'un angle de 90° de préférence; les balais sont mobiles et entraînés par un même arbre commandé par un petit moteur électrique J, monté en dérivation sur le circuit principal, et dont on peut faire varier la vitesse au moyen d'un rhéostat I ; la force contre-électromotrice produite par ce régulateur varie avec la vitesse du moteur J. Lorsque le moteur E a atteint sa vitesse de régime, le régulateur peut être ralenti ou complètement arrêté. Quand les parcours sont longs et la vitesse élevée, il peut n'être employé que pour les démarrages et les arrêts et être complètement arrêté quand la vitesse maxima est atteinte.

La commande simultanée des différents moteurs placés sur une même locomotive se complique beaucoup lorsqu'on multiplie le nombre des moteurs, en raison de la multiplicité d'organes qu'il faut employer et de l'action destructive des courants intenses qu'on emploie ; il faut, en outre, prévoir le cas où un ou plusieurs moteurs, mis hors d'état, devraient être coupés du circuit. La *General Electric Company* a récemment construit un contrôleur destiné à réaliser mécaniquement toutes les opérations qui peuvent se présenter. Il offre un intérêt particulier en raison du soin avec lequel toutes les précautions ont été prises pour éviter les fausses manœuvres. L'appareil représenté par les figures suivantes, 6 à 9, suppose l'emploi de 6 moteurs ; il pourrait s'adapter à un nombre différent en modifiant convenablement les circuits.

Ces 6 moteurs peuvent être groupés ou tous en série, ou en deux groupes de trois en série, ou en trois groupes de deux en série ; des résistances variables peuvent, en outre, être intercalées dans le circuit, au moment du démarrage.

Dans ses organes essentiels, ce contrôleur se compose de quatre cylindres portant les contacts mobiles sur lesquels le circuit est fermé au moyen de brosses fixes. Le premier, C^1 (fig. 6) sert à modifier les résistances, le second C^2, sert à effectuer le groupement des moteurs ; le troisième, C^3, est destiné à mettre hors circuit les moteurs détériorés ; enfin, le cylindre C^4, sert à renverser le sens du courant. Ces quatre cylindres sont disposés horizontalement, les uns au-dessous des autres. Les mouvements du cylindre C^1 sont solidaires de ceux du cylindre C^2, par un engrenage X ; les deux autres, C^3 et C^4, sont complètement indépendants et manœuvrés, le premier par une poignée I, le second par une tige G^4. Des combinaisons mécaniques particulières empêchent la manœuvre de l'un quelconque de ces cylindres lorsque la position des autres organes est telle que la manœuvre effectuée pourrait entraîner un accident.

Le cylindre C^2 est actionné directement, soit à la main, soit par un moteur ; il ne peut être fixé que dans quatre positions. Lorsqu'il fait un tour complet, le cylindre C^1 fait cinq révolutions. Dans la pratique C^2 ne fait pas un tour complet, mais décrit un arc tel que C^1 fasse quatre tours plus une partie, ce qui a pour effet de modifier la résistance jusqu'à ce qu'elle soit en court circuit; si le cinquième tour de C^1 était complètement effectué, le circuit serait ouvert. La résistance extérieure ne doit pouvoir être modifiée que si C^2 est dans la position qui correspond à la première combinaison. Pour cela, une tige U (fig. 7) manœuvrée à la main, agit sur un levier U′, pivoté en U^3, et qui porte une projection U^5 munie d'un galet de roulement U^9 qui vient s'engager dans des entailles Z^3, Z^4, Z^5, Z^6, du cylindre C^2. Quand U^9 est engagé dans une des trois premières, C^2 et, par conséquent, C^1,

sont immobilisés. Quand le galet est engagé en Z^6, au contraire, en raison des dimensions de cette entaille, le cylindre C^2 peut effectuer un

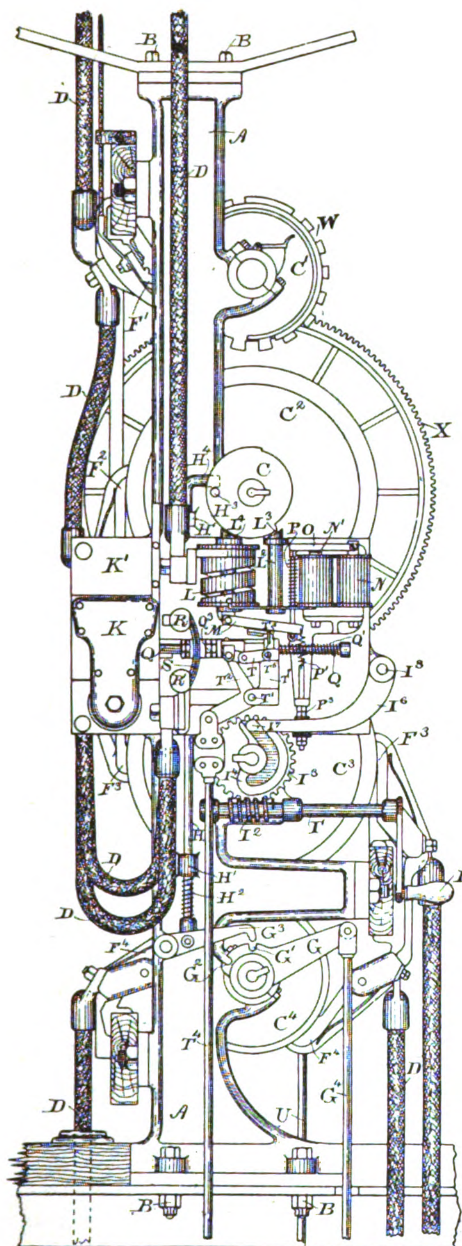


Fig. 6. — Contrôleur pour 6 moteurs de la « General Electric Company. » Vue latérale.

cinquième de tour et, partant C^1, un tour entier, ce qui permet de donner aux résistances extérieures la valeur désirée. Afin d'éviter que, par suite de contacts partiels, des arcs puissent se produire, il faut que le cylindre, C^1 ne puisse s'arrêter que dans les positions bien déterminées ; dans ce but, on a disposé le verrou U^6 manœuvré par le même levier U. Les deux cylindres sont ainsi parfaitement solidaires, et il est impossible d'effectuer une fausse manœuvre de l'un d'eux ou de les arrêter dans une position dangereuse.

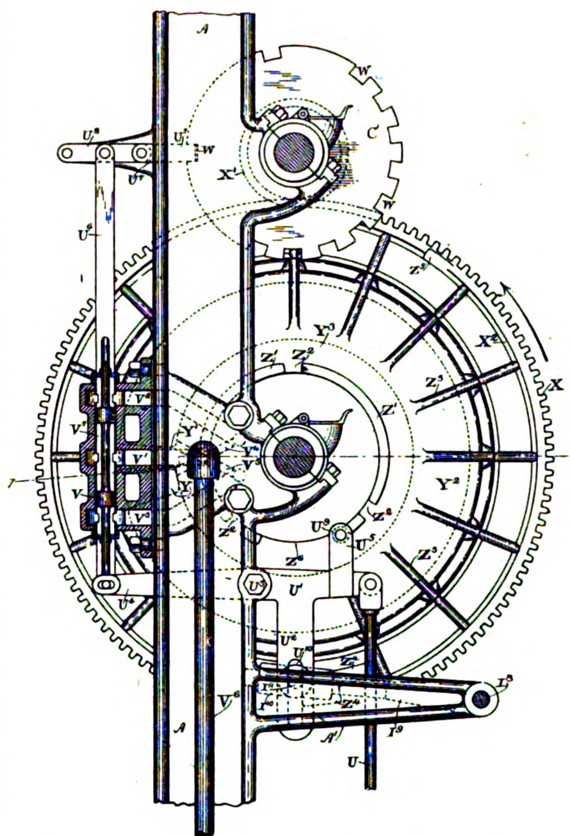


Fig. 7. — Contrôleur pour 6 moteurs de la « General Electric Company. » Détail de la commande.

Le modèle représenté est mû par l'air comprimé ; l'admission de l'air est commandée par le levier U, en sorte que le mécanicien en manœuvrant ce levier libère à la fois les cylindres C^1 et C^2 (par U^7 et U^5) et met en marche le moteur.

Passons maintenant à la manœuvre du cylindre C^3. Si l'un des moteurs est détérioré, et doit être coupé, il faut également couper un moteur dans l'autre groupe, lorsque les

moteurs sont en dérivation, afin d'équilibrer la résistance des circuits; mais on peut ne couper que le moteur détérioré lorsque le groupement se fait en série. Dans ce but, la manœuvre du cylindre C^3 empêche la rotation des cylindres C^1 et C^2 aux positions correspondant à ces groupements. Cette opération est effectuée de la façon suivante : l'axe de C^3 porte une came I^4 qui commande le levier I^6, pivoté en I^8 (fig. 6 et 7) et solidaire du levier I^9. Celui-ci par I^{10}, I^{11}, U^{10} et U^2 arrête le moteur. Les plaques de contact dont ce cylindre C^3 est muni, effectuent automatiquement les connexions nécessaires comme nous le verrons plus loin.

La manœuvre du cylindre C^4 est également solidaire de la position des autres organes. Le renversement brusque du courant dans les moteurs en marche serait, comme on sait, très dangereux, car la force contre-électromotrice du moteur s'ajoutant à celle du courant principal, l'intensité serait telle que l'armature serait brûlée. Un coupe-circuit automatique K a bien été disposé, pour obvier à cet inconvénient, mais son action pourrait être trop lente en raison de l'inertie des pièces (le courant dans l'appareil considéré doit avoir une intensité de 2 700 ampères sous 500 volts, soit 1 800 chevaux électriques, les dimensions des pièces sont donc considérables). C'est pourquoi l'inventeur a jugé nécessaire de disposer l'inverseur C^4 de façon qu'il ne puisse être manœuvré que si la position de C^2 est telle que le circuit soit ouvert. Cette condition est assurée de la façon suivante : le bras G qui commande G^2 porte deux entailles G^1 et G^2 dans lesquelles peut s'engager un doigt G^3 qui est commandé par une tige HH^4. Une goupille H^3, montée sur l'axe de C^2 maintient la tige HH^4 et, partant, le doigt G^3, soulevés tant que C^2 est dans la position de repos. Mais lorsque par la rotation de C^2, le circuit est fermé, H^3 abandonne HH^4 qui, sollicité par le ressort H^2, abaisse G^3 qui enclanche C^4 dans une des deux positions correspondant aux entailles G^2, G^3.

Pour compléter ces dispositions, un coupe-circuit automatique K, L, M, N, O, P, Q, sert à couper le courant lorsque son intensité est trop grande ou trop faible; il pourrait se faire, en effet, dans ce dernier cas, que le courant revenant brusquement sur la ligne, à sa valeur normale prît une valeur exagérée par suite de la faible force contre électromotrice développée par l'armature.

Voici comment fonctionne ce coupe-circuit; le courant arrivant par le trôlet *k* (fig. 8), passe par l'électro-aimant boiteux L, par le pont RSR', puis, par le câble D, se rend dans le contrôleur proprement dit, et de là à la terre. Le pont S s'engage à frottement dans les bornes R et R'; il est solidaire d'une tige Q sollicitée par un ressort puissant Q' à s'échapper vers la droite, ce qui a pour effet de rompre le circuit en RSR'. La tige Q est empêchée d'obéir à l'action du ressort par l'armature M de l'électro boiteux L qui engage un levier T^2 immobilisant la tige Q. Si le courant devient trop intense, l'armature M est attirée et le circuit rompu. Le courant se dérive alors par RK^2 et Q; ce circuit dérivé est coupé à son tour par la tige Q entre des pièces facilement interchangeables qui sont placées dans une chambre réfractaire K^1, entre les pôles K d'un électro-aimant K^2, qui a pour mission de souffler l'arc qui se produit entre les pôles de l'interrupteur. De cette façon, le courant est arrêté très brusquement, puisque l'arc ne peut durer, et l'action destructive de l'arc est entièrement reportée sur les pièces, faciles à remplacer, de l'interrupteur en dérivation, tandis que l'interrupteur RSR' reste toujours indemne. Comme, suivant le groupement des moteurs, l'intensité du courant qui passe par L est variable, l'attraction sur l'armature M serait variable aussi; l'inventeur a tourné cette difficulté par l'ingénieux dispositif suivant : la culasse de l'électro L est formée par un disque C solidaire du cylindre C^2 et qui porte des entailles dont la profondeur est déterminée expérimentalement de façon que la résistance du circuit magnétique soit modifiée suivant le groupement des moteurs, ce qui permet d'obtenir une attraction à peu près constante de l'armature M, bien que l'inten-

sité normale du courant magnétisant varie dans les différents cas.

Cet électro L agit lorsque le courant dépasse une valeur maxima. Pour rompre le circuit lorsque l'intensité tombe au-dessous d'une valeur minima, on a disposé en dérivation entre L et la terre, un électro très résistant N, dont l'armature O cède à l'action d'un ressort P

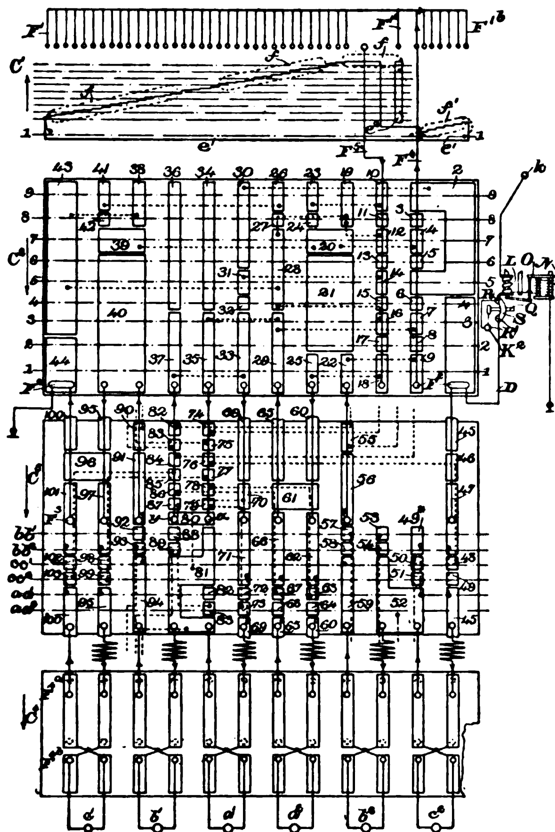


Fig. 8. — Contrôleur pour 6 moteurs de la « General Electric Company ». Schéma des circuits.

lorsque l'intensité tombe au-dessous de la valeur prévue. En se soulevant, elle entraîne, par la tige P, l'armature M, ce qui a pour effet de rompre le circuit exactement comme dans le premier cas.

Les ressorts antagonistes des armatures M et O peuvent être réglés à la main, afin d'adapter l'appareil à un nouveau régime qu'il serait nécessaire d'adopter si un ou plusieurs moteurs venaient à être mis hors d'usage. Le coupe-circuit peut être actionné à volonté par la tige T^4, en cas de danger.

Il nous reste à étudier les communications électriques du contrôleur ; elles sont faciles à suivre en s'aidant des figures 8 et 9. La première représente les communications électriques des touches des différents cylindres ; les communications établies à demeure y sont représentées en pointillé ; les lignes pleines représentent la position des circuits pour le groupement 1^a (fig. 9) comme on peut le voir

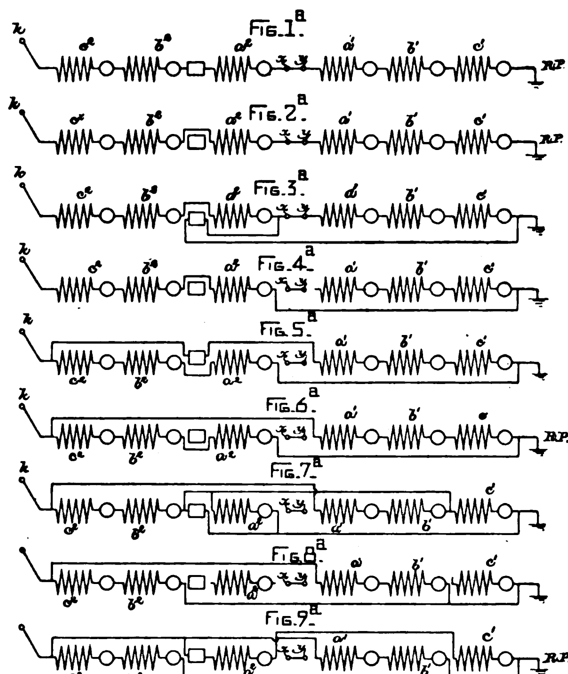


Fig. 9. — Contrôleur pour 6 moteurs de la « General Electric Company ». Groupement des moteurs.

en suivant les circuits ; les brosses de contact sont sur les lignes F^1, F^2, F^3, F^4. Supposons que l'on fasse tourner le cylindre C^2 de façon que les brosses prennent contact sur les lignes 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 ou 9 ; en suivant les circuits, on verra facilement que les combinaisons 1^a à 9^a sont réalisées. La combinaison 2^a ne diffère de la première que par la position du cylindre C^1 qui est telle que toutes les résistances extérieures sont coupées ; entre ces deux positions, il y en a 9 autres dépendant de la valeur attribuée à la résistance par la po-

sition du cylindre C'^{1}. On peut donc réaliser 10 vitesses différentes en laissant tous les moteurs en série. Nous n'expliquerons pas le détail des opérations qui sont assez simples et faciles à suivre sur les diagrammes. Seul, le fonctionnement du cylindre C^3 demande quelques explications.

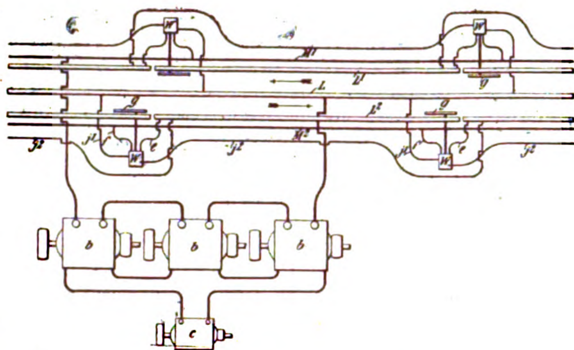


Fig. 10. — Distribution H. Maxim.

L'inventeur a placé sur ce cylindre une paire de plaques de contact pour chaque moteur; elles sont disposées de telle façon que, lorsque les brosses touchent ces plaques, le moteur correspondant est complètement coupé.

Les moteurs sont disposés par paires et, comme nous l'avons déjà expliqué, le second moteur, correspondant à celui qui est mis hors circuit, doit être maintenu dans les groupements en série et isolé dans les groupements en dérivation. En suivant le tracé des circuits on voit que les bornes de ce second moteur, dans la position supposée, sont reliées aux contact x et y (fig. 8) ; les brosses de contact du moteur coupé sont reliées aux quatrième et cinquième brosses à partir de la gauche du cylindre C^3; ces brosses seraient donc reliées dans les trois premières positions de C^3, avec les plaques 37 et 35 respectivement ; dans les six dernières positions de C^3, elles seraient en contact respectivement avec les plaques 34 et 36, qui sont isolées, en sorte que le moteur est coupé tant que les moteurs sont groupés en dérivation.

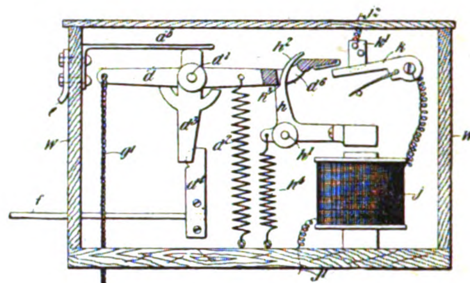


Fig. 11. — Distribution H. Maxim. Délail du commutateur automatique.

Les leviers de commande des différents organes sont à la disposition du mécanicien qui peut effectuer certaines manœuvres urgentes avec le pied, en cas de danger.

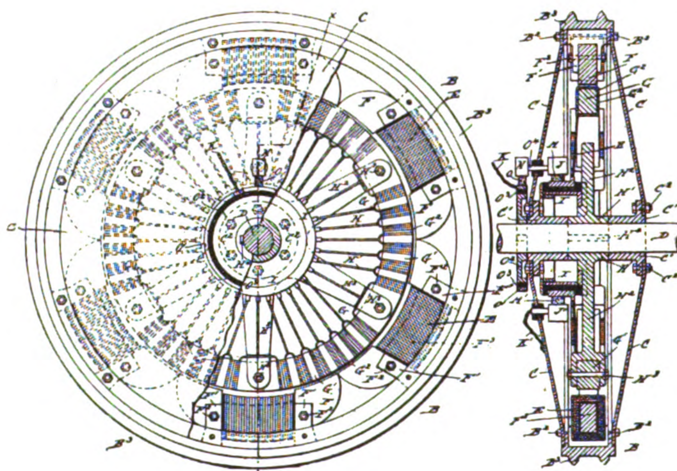


Fig. 12 et 13. Roue motrice de Boynton. Vue latérale et coupe.

Sur les lignes où la pente est importante, comme en pays de montagnes, l'emploi des locomotives à crémaillère est tout indiqué; M. *Francis Rinecker* propose d'employer, dans ce cas, un seul moteur sur la locomotive ; l'arbre de ce moteur porte deux roues dentées qui peuvent être embrayées à volonté ; l'une d'elles attaque, par chaîne de transmission, une des roues motrices ordinaires, l'autre une des roues den-

tées engrenant avec la crémaillère; on peut ainsi actionner à volonté soit les roues sur rail, soit les roues dentées. Les roues motrices sur rail sont couplées par des tiges latérales ou des chaines, ainsi que les roues dentées; celles-ci peuvent être également reliées par engrenage. La transmission par chaîne peut être remplacée par des manivelles et des bielles.

M. *Hiram Maxim* propose, en vue principalement des trains à grande vitesse où l'on doit employer des courants à haute tension, le système de distribution dont voici l'avant-projet (fig. 10 et 11).

Les conducteurs du courant sont placés parallèlement aux rails. Le conducteur de retour L, est placé dans l'entre-voie ; il est relié à l'un des pôles des génératrices et à la terre ; il est continu. Les conducteurs d'amenée du courant L^1 et L^2 sont placés sur le côté extérieur de la voie ; il y en a un pour chaque paire de rails, comme le représente la figure 10 qui se rapporte à une double voie. Ces conducteurs, sur lesquels frottent les prises de courant portées par le train, sont isolés avec soin ; ils sont divisés chacun en sections isolées les unes des autres ; chaque section est reliée automatiquement avec les conducteurs continus isolés M^1, M^2, lors du passage du train ; la communication est coupée automatiquement par le train lui-même lorsqu'il quitte cette section pour pénétrer dans la suivante. Il n'y a donc, à tout moment et pour chaque train qu'une seule section des conducteurs de service qui soit chargée.

Les contacts sont établis ou rompus par les commutateurs automatiques W, représentés en détail dans la figure 11. Lorsque le train vient dans la direction marquée par les flèches, il abaisse le plan incliné g (fig. 10) qui par la tige g' (fig. 11) incline le levier d, pivoté en d^1 et, par son intermédiaire établit le contact entre le levier d^2, qui est relié par e d^5 avec le conducteur ou feeder M, et le levier d^4 qui est relié par f avec le conducteur de service L. Le levier d s'enclanche en h^1 avec le levier h qui le maintient en position jusqu'à ce que le train, parvenant à la section suivante, ferme le circuit j^1 j^2 de l'électro-aimant j, qui déclanche le levier d, lequel, sollicité par le ressort d^3, rompt le contact entre d^2 et d^4.

M. *E.-M. Boynton* renferme le moteur électrique dans la roue même du véhicule; l'armature peut être fixée à la jante de la roue et être mobile avec elle, tandis que les inducteurs sont fixés à l'essieu fixe, ou bien, la disposition inverse peut être adoptée. Dans d'autres modèles, l'une et l'autre parties peuvent être mobiles; la partie reliée à l'essieu ne l'est que par un embrayage et peut être immobilisée, la partie reliée à la jante restant seule mobile; cette disposition a pour but de faciliter la mise en vitesse relative du moteur, et par conséquent d'augmenter la force contre-électromotrice au moment du démarrage, afin de réduire rapidement l'intensité du courant; la rotation de la partie reliée à la jante fait avancer le véhicule, tandis que la rotation en sens inverse de l'essieu, assure le fonctionnement d'organes accessoires tels que des compresseurs d'air pour actionner les freins ou la manœuvre des portes. Cette disposition ne serait applicable qu'à des trains très légers et dans des conditions particulièrement favorables du démarrage, celui-ci exigeant toujours un maxi-

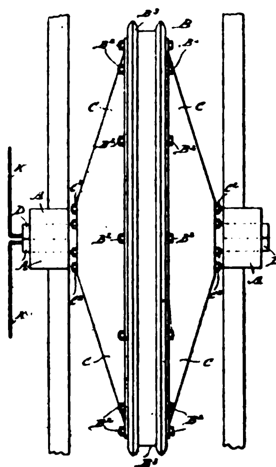


Fig. 14. — Roue motrice Boynton. Aspect extérieur.

mum de puissance utile. L'inventeur le reconnaît, du reste, puisqu'il propose, pour le démarrage et la montée des rampes, de réduire la vitesse de rotation au moyen d'engrenages, afin d'augmenter l'effort.

Nous nous contenterons de représenter en figures 12, 13 et 14 le modèle le plus simple dans lequel l'armature intérieure est fixe, et les inducteurs extérieurs mobiles.

La figure 15 représente l'application de ce système à un chemin de fer « bicycle »; la roue motrice est en V; elle roule sur le rail inférieur unique V⁵; l'essieu D peut actionner le compresseur d'air E⁵; l'air comprimé dans le réservoir V peut actionner les freins V⁴ et faire mouvoir les portes glissantes U¹⁰ dont la manœuvre simultanée facilite l'entrée et la sortie des voyageurs. La prise de courant se fait sur le rail guide supérieur V² par des galets de roulement V³.

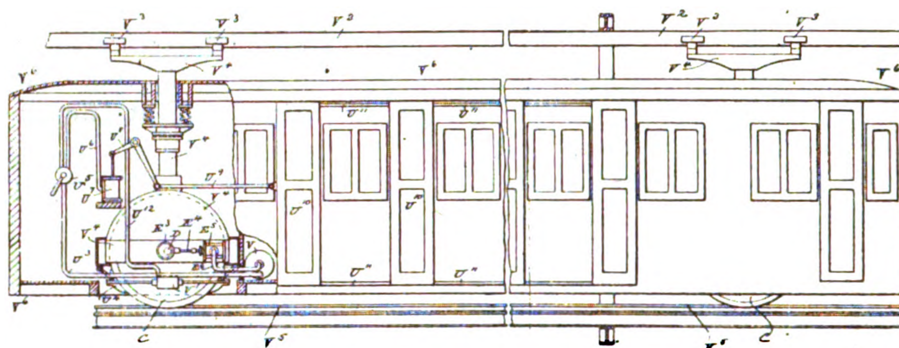


Fig. 15. — Application de la roue motrice Boynton à un chemin de fer bicycle.

(*A suivre.*) G. PELLISSIER.

ÉTUDE DU CHAMP MAGNÉTIQUE

D'UN MOTEUR ÉLECTRIQUE

A COURANTS DIPHASÉS

DU TYPE BROWN, DE 5 CHEVAUX [1]

Dans le numéro 27 de ce journal, nous avons fait l'étude théorique et expérimentale du champ magnétique du moteur dont il s'agit.

Nous nous proposons maintenant de prédéterminer par le calcul tous les éléments d'appréciation de la marche de la machine et de vérifier ensuite expérimentalement si nos prévisions se réalisent.

Nous renvoyons à l'article précédent ci-dessus indiqué pour le croquis du moteur.

Ce dernier est constitué par un induit cylindrique en tôles, plein, avec enroulement en cage d'écureuil dans des trous périphériques et par un inducteur également feuilleté, en forme d'anneau, à deux circuits perpendiculaires, disposés en tambour par rapport à l'induit, et dont les spires pénètrent dans des trous percés à la périphérie interne, vis-à-vis du bobinage d'induit.

THÉORIE DU MOTEUR DIPHASÉ A CHAMP TOURNANT

Nous n'avons pas l'intention de recommencer la théorie des moteurs à champ tournant. On a déjà beaucoup travaillé la question et les solutions ont parfois différé par la forme et même par le fond.

Dans notre travail, nous appliquerons tout simplement, en les rappelant, les propriétés connues des courants polyphasés et nous le ferons de façon à réduire les calculs d'application. Nous nous servirons de la méthode

[1] Voir l'*Eclairage Electrique* du 6 juillet, p. 5.

graphique que nous simplifierons aussi le plus possible par la considération du seul flux qui existe en réalité dans le moteur, le flux tournant, résultante des flux fictifs inducteur et induit.

Courants inducteurs diphasés. Champ fictif inducteur. — Les deux circuits inducteurs à angle droit étant parcourus par des courants alternatifs décalés de 90° ou $\frac{\pi}{2}$, on sait que :

1° Le champ inducteur, s'il existe seul dans la machine, tourne avec une vitesse angulaire égale à celle des courants, c'est-à-dire 2π fois la fréquence ;

2° Son intensité est constante et égale à celle due à un seul courant lorsque ce dernier est à son maximum d'intensité ($\mathfrak{I}$), si le circuit magnétique est uniforme ou symétrique par rapport à l'axe de la machine et si les courants varient suivant la loi sinusoïdale simple.

Si T est le temps périodique des courants inducteurs et Ω la vitesse angulaire, $\frac{1}{T}$ est la fréquence et on a :

$$\Omega = \frac{2\pi}{T}.$$

Les courants inducteurs sont supposés tels qu'ils suivent la loi indiquée par la formule :

$$i = \mathfrak{I} \sin \Omega t.$$

Quant au flux inducteur, en supposant la résistance magnétique égale à r et le nombre de tours de fil par cadre inducteur égal à $\mathfrak{N}$, il est, s'il existe seul et si les spires inductrices sont parallèles :

$$\mathfrak{F} = \frac{4\pi \mathfrak{N} \mathfrak{I}}{r}.$$

Courants d'induit. Flux fictif d'induit. — Supposons que l'induit possède $2m$ barres donnant m cadres réunis en quantité et présentant entre eux des angles $\frac{\pi}{m}$. Ces cadres seront parcourus par des courants alternatifs d'amplitude I, décalés l'un par rapport à l'autre de $\frac{\pi}{m}$, et dont la force magnétomotrice résultante a été trouvée constante et proportionnelle à $\frac{m}{2}$ I : c'est la force magnétomotrice maxima due à un cadre induit multipliée par le nombre de paires $\left(\frac{m}{2}\right)$ de cadres.

Dans le cas le plus général, si n est le nombre de tours de fil par cadre induit, le flux d'induit est, s'il existe seul dans le moteur :

$$F = \frac{m}{2} \frac{4\pi n I}{r}.$$

On prouve aussi que ce flux tourne autour de l'axe de l'induit avec une vitesse angulaire égale à celle des courants induits, c'est-à-dire à la vitesse relative du flux fictif inducteur par rapport à l'armature.

Angle des flux fictifs. — En considérant les angles que font, à un moment donné, les différents cadres induits avec le champ fictif inducteur tournant — ces angles différant l'un de l'autre de $\frac{\pi}{m}$ — on établit les f. é. m. d'induction qui y agissent et les courants qui y circulent. Admettons que les flux, f. é. m. et courants varient sinusoïdalement ; les f. é. m. sont décalées de $\frac{\pi}{2}$ par rapport aux variations du flux correspondantes (loi d'induction) et les courants sont décalés de l'angle φ, dû à la self-induction de l'induit, par rapport à leur f. é. m., donc de $\frac{\pi}{2} + \varphi$ par rapport aux variations du flux inducteur.

Si on cherche les caractères du flux fictif résultant dû à tous ces courants induits, on le trouve constant, ayant la valeur indiquée ci-dessus et tournant à la suite du flux fictif inducteur dans l'espace, donc avec la vitesse angulaire Ω, mais en retard sur ce dernier de $\frac{\pi}{2} + \varphi$, angle de retard des courants induits par rapport aux variations du flux fictif inducteur qui les produisent.

Flux résultant ou flux réel. Triangle rectangle des flux fictifs. — Nous venons de voir que, si les flux inducteur et induit existaient isolément dans l'induit, ils formeraient entre eux un angle $\frac{\pi}{2} + \varphi$.

En réalité, il n'y a qu'un flux dans le moteur, c'est un flux résultant dû à la composition des f. m. m. des courants inducteurs et induits. Les courants inducteurs et induits considérés sont les courants réels, effectifs, obtenus en ayant égard aux différentes réactions existant entre les circuits.

Nous savons que le flux fictif dû à l'induit serait en retard sur le flux fictif inducteur de l'angle $\frac{\pi}{2} + \varphi$ égal à l'angle de retard des sinusoïdes des courants induits sur les sinusoïdes des variations de flux dans les cadres induits correspondants. Si nous considérons le flux résultant comme flux inducteur nous n'avons plus à tenir compte de la self-induction dans les cadres induits — puisque cette self-induction serait due à la rotation du flux fictif d'induit par rapport aux cadres d'induit — et alors les sinusoïdes des f. é. m. effectives et des courants induits sont en concordance entre elles et en retard de $\frac{\pi}{2}$ sur les sinusoïdes des variations de flux résultant.

Il est toutefois évident que nous pouvons maintenir la considération des flux inducteur et induit pour autant que nous prenions pour réluctance des circuits magnétiques la réluctance offerte au flux réel résultant ; c'est-à-dire évaluée à l'aide des perméalités correspondant à ce flux.

En réalité, ce sont les f. m. m. de l'inducteur et de l'induit que nous devrons bientôt avoir en vue et c'est leur résultante qui nous fournira le moyen de calculer exactement le flux réel.

Pour le moment, contentons-nous de l'hypothèse des flux fictifs calculés comme il est dit ci-dessus.

Le parallélogramme ci-contre (fig. 11) indique ces flux et leur composition pour fournir le flux résultant que nous désignons par Φ.

Les variations des flux fictifs inducteur et induit dans les cadres étant en concordance de phase avec les courants qui les créent, on peut dire aussi que OA et OB représentent, en valeur vectorielle et à une certaine échelle, les courants inducteurs et induits maxima, ou encore les f. é. m. effectives, c'est-à-dire celles absorbées par les résistances ohmiques ($\mathfrak{R}\mathfrak{I}$ et RI) des circuits. En considérant le sens de

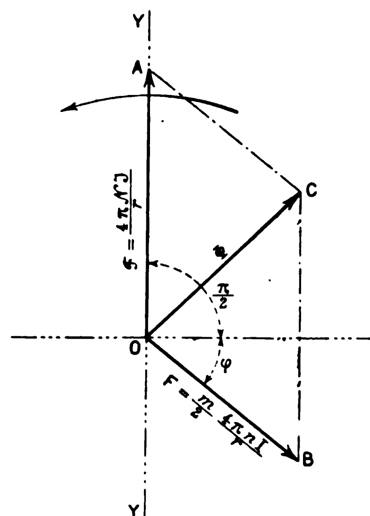


Fig. 11. — Parallélogramme des flux.

rotation des rayons vecteurs indiqué par la figure, ce qui précède revient à dire que les variations des f. é m. effectives dans les cadres inducteurs et induits, comme les variations de flux dans les mêmes cadres, suivent les variations des projections de $\mathfrak{F}$ et F sur l'axe OY.

Pour éviter de longs calculs, nous rappellerons seulement, à l'appui de ce qui précède, que n cadres fixes faisant entre eux des angles $\frac{\pi}{n}$ ou $\frac{2\pi}{n}$ et parcourus par des courants décalés de $\frac{\pi}{n}$ ou $\frac{2\pi}{n}$ d'un cadre à l'autre, donnent lieu à un champ tournant uniforme, de vitesse Ω sin $i = \mathfrak{I} \sin \Omega t$ est le courant du premier cadre, et faisant à l'instant t l'angle Ωt avec ce premier cadre.

Le flux dans les cadres (voir fig. 12) varie sinusoïdalement et il est $\Phi' \sin \Omega t$ dans le pre-

mier cadre lorsque le courant y est $\mathfrak{I} \sin \Omega t$. Ces deux valeurs, les variations de flux et les courants sont donc en concordance pour le premier cadre. On prouverait qu'il en est de même pour les autres.

Nous venons de rappeler que les f. é. m. effectives dans les bobines inductrices et induites sont en concordance de phase avec les variations des flux fictifs inducteur et induit dans ces bobines. Nous avons vu aussi que les f. é. m. effectives induites sont en retard de $\frac{\pi}{2}$ sur les variations périodiques du flux résultant dans les cadres induits. Enfin nous avons reconnu également que les f. é. m. effectives induites sont en retard de $\frac{\pi}{2} + \varphi$ sur les variations périodiques du flux fictif inducteur $\mathfrak{F}$ dans les mêmes cadres, donc aussi sur les f. é. m. effectives inductrices ($\mathfrak{R}\mathfrak{I}$).

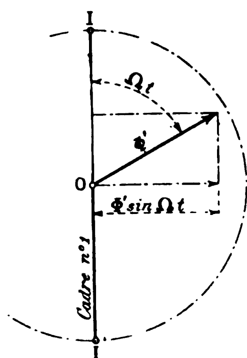


Fig. 12.

En diagramme polaire, si $\mathfrak{R}$ et R sont les résistances d'un cadre inducteur et d'un cadre induit, Φ le flux résultant, $\mathfrak{R}\mathfrak{I}$ et RI les f. é. m. effectives, on obtient la disposition des valeurs vectorielles ci-contre (fig. 13).

Le flux résultant Φ est en avance de $\frac{\pi}{2}$ sur le flux d'induit F et sur RI, qui sont eux-mêmes en retard de $\frac{\pi}{2} + \varphi$ par rapport au flux d'inducteur $\mathfrak{F}$ et à $\mathfrak{R}\mathfrak{I}$. Le flux Φ est donc en retard de l'angle φ sur le flux d'inducteur ou sur la f.é.m. effective inductrice et il est perpendiculaire au flux d'induit. Le polygone des flux OBC est donc un triangle rectangle et il donne :

$$\Phi^2 = \mathfrak{F}^2 - F^2$$
$$\Phi = \mathfrak{F} \cos \varphi.$$

Triangle rectangle des forces magnétomotrices. — Dans le but d'écarter les considérations de réluctance dans des directions différentes — pour les flux fictifs $\mathfrak{F}$ et F — nous ne tiendrons compte, pour le calcul du flux résultant, que des forces magnétomotrices

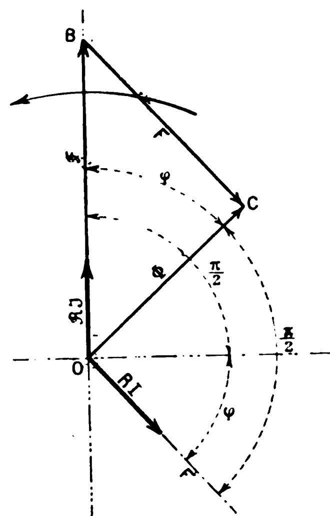


Fig. 13. — Triangle-rectangle des flux fictifs.

composantes d'inducteur et d'induit $4\pi\mathfrak{N}\mathfrak{I}$ et $\frac{m}{2} 4\pi n I$ (fig. 14) dont l'angle est $\frac{\pi}{2} + \varphi$, et de la direction du flux Φ, à angle droit sur $\frac{m}{2} 4\pi n I$. r étant la réluctance, Φr est la f. m. m. effective produisant le flux résultant.

Nous obtenons ainsi le triangle OBC (fig. 14) des f. m. m. qui fournit les relations :

$$\Phi r = \sqrt{(4\pi\mathfrak{N}\mathfrak{I})^2 - \left(\frac{m}{2} 4\pi n I\right)^2}$$

$$\Phi r = 4\pi\mathfrak{N}\mathfrak{I} \cos \varphi$$

$$\Phi = \frac{4\pi\mathfrak{N}\mathfrak{I}}{r} \cos \varphi \qquad (1)$$

$$\Phi = \frac{4\pi}{r} \sqrt{\mathfrak{N}^2\mathfrak{I}^2 - \frac{m^2}{4} n^2 I^2} \qquad (2)$$

Le même triangle donne :

$$\frac{m}{2}\,4\pi n I = 4\pi \mathfrak{N}\mathfrak{J} \sin\varphi$$

$$I = \frac{\mathfrak{N}\mathfrak{J}}{\frac{m}{2}\,n}\sin\varphi \qquad (3)$$

$$\mathfrak{J} = \frac{\frac{m}{2}\,nI}{\mathfrak{N}\sin\varphi}. \qquad (4 \text{ et } 5)$$

Pour les induits en cage d'écureuil, les cadres sont formés de deux barres et $n = 1$.

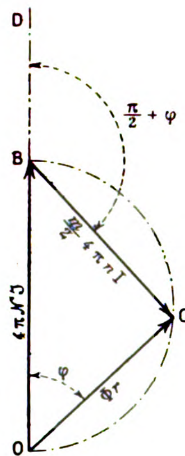


Fig. 14.
Triangle rectangle des forces magnéto-motrices.

Les formules 3 et 4 se simplifient alors et deviennent :

$$I = 2\,\frac{\mathfrak{N}\mathfrak{J}}{m}\sin\varphi \qquad (5)$$

$$\mathfrak{J} = \frac{mI}{2\mathfrak{N}\sin\varphi}. \qquad (6)$$

En remplaçant I et $\mathfrak{J}$ par leurs valeurs dans (1) et (2), nous obtenons :

$$\Phi = \frac{2\pi m I}{r\,tg\varphi} \qquad (7)$$

$$\Phi = \frac{4\pi}{r}\sqrt{\mathfrak{N}^2\mathfrak{J}^2(1-\sin^2\varphi)} = \frac{4\pi\mathfrak{N}\mathfrak{J}}{r}\sqrt{1-\sin^2\varphi}\,. \qquad (8)$$

Relations entre les courants inducteurs et induits. — Nous venons de trouver :

$$I = \frac{2\mathfrak{N}\mathfrak{J}}{m}\sin\varphi \qquad (5)$$

$$\mathfrak{J} = \frac{Im}{2\mathfrak{N}\sin\varphi}.$$

$\mathfrak{N}$ = nombre de spires par cadre inducteur;
m = nombre de cadres induits ou de paires de barres.

Remarque. — On peut montrer très facilement, par une simple transformation de formules, que le triangle rectangle des f. m. m. de la figure 14 est semblable au triangle des f. é. m. effective, d'induction mutuelle et de self-induction bien connu des cadres d'induit (fig. 15). RI est la f.é.m. effective; $(\Omega - \omega) M\mathfrak{J}$ la

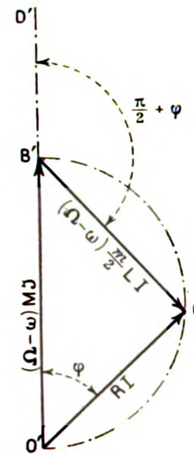


Fig. 15. — Triangle des forces électro-motrices effective, d'induction mutuelle et de self-induction des cadres d'induit.

f. é. m. d'induction mutuelle; $(\Omega - \omega)\,\frac{m}{2}\,LI$ la f. é. m. de self-induction de l'induit. M est le coefficient d'induction mutuelle d'un cadre inducteur par rapport à un cadre induit, L le coefficient de self-induction d'un cadre induit.

On peut transformer les deux dernières f. é. m. Elles deviennent :

$$(\Omega - \omega)\,M\mathfrak{J} = (\Omega - \omega)\,\frac{4\pi\mathfrak{N}n\mathfrak{J}}{r} = \frac{(\Omega-\omega)n}{r}\,4\pi\mathfrak{N}\mathfrak{J}$$

$$(\Omega - \omega)\,\frac{m}{2}\,LI = (\Omega - \omega)\,\frac{m}{2}\,\frac{4\pi n^2 I}{r} = \frac{(\Omega-\omega)n}{r}\,\frac{m}{2}\,4\pi n I\,.$$

On voit que les f. é. m. sont les produits des f. m. m. considérées par un facteur constant

$$\frac{(\Omega-\omega)n}{r}.$$

Forces électromotrices agissant dans les cadres inducteurs. — En ne considérant

que le flux résultant, nous n'avons à tenir compte que de la f. é. m. appliquées OE ou $\mathcal{E}$ (fig. 16), de la f. é. m. effective OG ou $\mathfrak{R}\mathfrak{J}$ et de la f. é. m. d'induction ou f. c. é. m. GE due au flux résultant Φ, tournant à la vitesse angulaire Ω par rapport aux cadres inducteurs. Cette f. c. é. m. est en retard de $\frac{\pi}{2}$ sur Φ et son amplitude est $\Omega\,\Phi\,\mathfrak{N}$ dans chaque cadre inducteur.

θ est l'angle de retard du courant inducteur sur la f. é. m. appliquée au circuit.

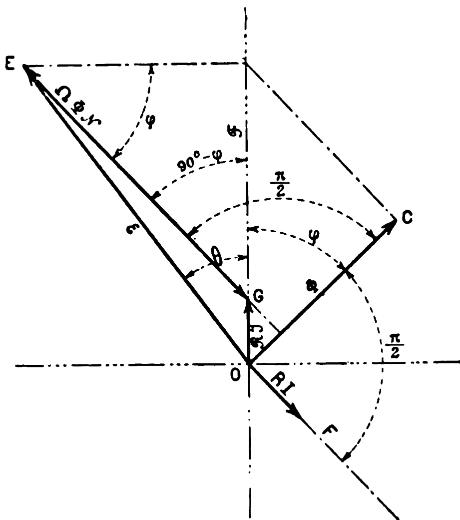


Fig. 16. — Forces électromotrices agissant dans les cadres inducteurs. Flux résultant et flux fictifs.

La figure 16 ci-dessus fournit les relations :

$$\cos\theta = \frac{\mathfrak{R}\mathfrak{J} + \Omega\Phi\mathfrak{N}\sin\varphi}{\mathcal{E}} \tag{9}$$

$$\operatorname{tg}\theta = \frac{\Omega\Phi\mathfrak{N}\cos\varphi}{\mathfrak{R}\mathfrak{J} + \Omega\Phi\mathfrak{N}\sin\varphi} \tag{10}$$

$$\mathcal{E}^2 = (\mathfrak{R}\mathfrak{J} + \Omega\Phi\mathfrak{N}\sin\varphi)^2 + (\Omega\Phi\mathfrak{N}\cos\varphi)^2 \tag{11}$$

Cas ou $\mathfrak{R}$ est faible. — Cas le plus fréquent. Alors, généralement, $\mathfrak{R}\mathfrak{J}$ est petit vis-à-vis de $\Omega\mathfrak{N}\Phi$ et la formule (11) devient :

$$\mathcal{E} = \Omega\Phi\mathfrak{N} \tag{12}$$

On a aussi sensiblement :

$$\theta = 90^\circ - \varphi. \tag{13}$$

Cas où φ est grand et θ petit. — Alors

$$\mathcal{E} = \mathfrak{R}\mathfrak{J} + \Omega\Phi\mathfrak{N}. \tag{14}$$

Force électromotrice effective des cadres induits. — Le flux résultant tourne dans l'espace avec la vitesse angulaire Ω. L'induit le suit avec une vitesse moindre ω. La vitesse relative du flux dans l'induit est donc $\Omega-\omega$. Le maximum de la f. é. m créée par le flux Φ dans les cadres induits, qui ont un seul tour de fil, est évidemment :

$$(\Omega - \omega)\Phi = \mathrm{E}.$$

I étant la valeur maxima des courants alternatifs qui circulent dans les barres, nous avons :

$$\mathrm{RI} = (\Omega - \omega)\Phi. \tag{15}$$

Puissance dépensée dans l'induit. — e et i étant la f. é. m. et le courant à un instant donné dans un cadre d'induit, la puissance y est ei à cet instant. Pour une période 2π, la puissance dépensée est la moyenne des produits ei. C'est, comme on sait, s'il y a un décalage φ entre E et I :

$$\frac{1}{2}\,\mathrm{EI}\cos\varphi = \frac{1}{2}\,\mathrm{RI}^2 = \frac{1}{2}\,\frac{\mathrm{E}^2}{\mathrm{R}}\cos^2\varphi = \mathrm{RI}^2_{eff.}\,.$$

La puissance totale dépensée dans l'induit, pour m cadres, est donc :

$$\mathrm{P} = \frac{m}{2}\,\mathrm{RI}^2. \tag{16}$$

c'est RI^2 fois le nombre de paires de cadres.

Couple moteur. — Le couple est donné par les réactions magnétiques existant entre le flux résultant tournant et les courants de l'induit. Ce couple, multiplié par la vitesse angulaire du flux par rapport à l'induit $(\Omega-\omega)$, donne évidemment l'équivalent mécanique de la puissance électrique dépensée dans l'armature. Or, cette dernière se résoud entièrement en chaleur et elle est :

$$\frac{m}{2}\,\mathrm{RI}^2.$$

Nous pouvons donc écrire :

$$\frac{m}{2}\,\mathrm{RI}^2 = (\Omega - \omega)\,\mathcal{C}\,;$$

d'où,

$$\mathcal{C} = \frac{m}{2}\,\frac{\mathrm{RI}^2}{\Omega - \omega}. \tag{17}$$

Mais,

$$\Phi(\Omega - \omega) = RI \text{ et } I = \frac{\Phi(\Omega - \omega)}{R}.$$

En remplaçant les deux facteurs ou un seul des facteurs I de la formule (17) par leur valeur, nous obtenons :

$$\mathfrak{C} = \frac{m}{2} \frac{(\Omega - \omega)\,\Phi^2}{R}; \qquad (18)$$

$$\mathfrak{C} = \frac{m}{2}\, I\Phi. \qquad (19)$$

Cette dernière formule s'explique facilement. Le couple maximum, pour un cadre, est égal au produit du flux qui traverse ce cadre par le courant qui y circule. Le couple total est la somme de ces produits, c'est-à-dire dans le cas présent, la valeur maxima de ces produits ($I\Phi$) multipliée par le nombre de paires de cadres.

Principales formules utilisées dans nos calculs d'application.

$$\mathfrak{E} = \Omega\Phi\mathfrak{N} \ (12) \quad \theta = 90^\circ - \varphi \ (13) \quad \mathfrak{E} = \mathfrak{R}\mathfrak{J} + \Omega\Phi\mathfrak{N} \ (14)$$

$$\cos\varphi = \frac{\Phi r}{4\pi\mathfrak{N}\mathfrak{J}} \qquad (1)$$

$$I = \frac{2\mathfrak{N}\mathfrak{J}}{m} \sin\varphi \ (5) \qquad \mathfrak{J} = \frac{mI}{2\mathfrak{N}\sin\varphi} \qquad (6)$$

$$\mathfrak{E}^2 = (\mathfrak{R}\mathfrak{J} + \Omega\Phi\mathfrak{N}\sin\varphi)^2 + (\Omega\Phi\mathfrak{N}\cos\varphi)^2 \qquad (11)$$

$$\cos\theta = \frac{\mathfrak{R}\mathfrak{J} + \Omega\Phi\mathfrak{N}\sin\varphi}{\mathfrak{E}} \qquad (9)$$

$$RI = (\Omega - \omega)\Phi \qquad (15)$$

$$\mathfrak{C} = \frac{m}{2} \frac{(\Omega - \omega)\Phi^2}{R} \qquad (18)$$

$$\mathfrak{C} = \frac{m}{2}\, I\Phi. \qquad (19)$$

Application des formules au moteur Brown en étude. — Comme nous l'avons dit dans notre précédent travail, ce moteur fait partie du matériel de l'Ecole d'industrie et des mines du Hainaut, à Mons. Nous avons décrit la génératrice qui l'alimente, lors de nos expériences, dans un article du n° 22 de ce journal.

La vitesse de cette génératrice bipolaire à courants diphasés est de 2000 tours par minute ou de 33,3 tours par seconde. Le temps périodique T est donc de $\frac{1}{33{,}3}$ seconde.

$$\Omega = \frac{2\pi}{T} = 6{,}28 \times 33{,}3 = 209{,}1.$$

Comme on l'a vu dans l'article déjà cité du n° 27 du journal, le nombre de spires inductrices par cadre inducteur est de 36. La formule (12) devient ainsi

$$\mathfrak{E} = \Omega\Phi\mathfrak{N} = 7528\,\Phi.$$

Mais la f. é. m. de ces 36 spires n'est pas maxima au même moment parce qu'elles ne sont pas parallèles et nous pouvons admettre, d'après un calcul du travail cité (*Éclairage Électrique*, n° 27) que :

$$\mathfrak{E} = 0{,}925 \times 7528\Phi = 6950\Phi. \qquad (12)$$

Le coefficient 0,925 donne une moyenne entre les f. é. m. des spires lorsque leur somme est maxima.

Nous avons reconnu dans le même travail que la f. m. m. d'un cadre inducteur n'est pas $4\pi\mathfrak{N}\mathfrak{J}$, par suite de la disposition angulaire des spires, mais bien

$$0{,}925 \times 4\pi\mathfrak{N}\mathfrak{J} = 418{,}25\mathfrak{J}.$$

Le flux produit lorsque l'un des courants inducteurs est à son maximum est donc proportionnel à cette valeur. Lorsque les deux courants sont l'un $\mathfrak{J}\sin 45^\circ$ et l'autre $\mathfrak{J}\cos 45^\circ$, et que le flux fictif inducteur est à 45° sur les axes des cadres, nous avons montré aussi, toujours dans le même article, que la f. m. m. est seulement

$$0{,}900.4\pi\mathfrak{N}\mathfrak{J} = 407\mathfrak{J}.$$

ou bien

$$0{,}900 \times 4\pi\mathfrak{N}\mathfrak{J} = 407\mathfrak{J}$$

Nous prendrons comme moyenne de la f. m. m. inductrice :

$$\mathfrak{F} = 412{,}6\mathfrak{J}.$$

La formule (1) devient ainsi :

$$\cos\varphi = \frac{\Phi r}{412{,}6\mathfrak{J}}. \qquad (1)$$

Les formules (5) et (6) sont aussi, pour $m = 16$:

$$I = \frac{0{,}9125 \times 2\mathfrak{N}\mathfrak{J}}{m} \sin \varphi = 4{,}1\mathfrak{J} \sin \varphi \ldots \qquad (5)$$

$$\mathfrak{J} = \frac{1}{4{,}1} \frac{I}{\sin \varphi} = 0{,}244 \frac{I}{\sin \varphi} \ldots\ldots \qquad (6)$$

La résistance $\mathfrak{R}$ des circuits inducteurs a été déterminée au pont de Wheatstone. Elle est à froid en moyenne de

$$\mathfrak{R} = \frac{0{,}118 + 0{,}113}{2} = 0{,}1155 \text{ ohm};$$

et à chaud, pendant les expériences que nous allons relater,

$$\mathfrak{R} = \frac{0{,}1345 + 0{,}13}{2} = 0{,}132 \text{ ohm ou } 1{,}32 \times 10^8 \text{ C.G.S.}$$

La résistance R d'un cadre induit (2 barres) a été calculée en comptant pour résistibilité du métal $1{,}7 \times 10^{-6}$ ohm. Ces barres ont 0,7 cm. de diamètre et 20,5 cm. de longueur. A 0°, on a environ :

$$\mathfrak{R} = \frac{1{,}7 \times 41 \times 10^{-6}}{0{,}3848} = 1{,}81 \times 10^{-4} \text{ ohm ou } 1{,}81 \times 10^5 \text{ C.G.S.}$$

A 55°, température moyenne des expériences.

$$\mathfrak{R} = 1{,}81 \times 10^5 \times 1{,}21 = 2{,}19 \text{ soit } 2{,}2 \times 10^5 \text{C.G.S.}$$

Nous trouvons à l'aide de ces dernières données :

$$\mathcal{E}^2 = (1{,}32 \times 10^8 \times \mathfrak{J} + 6950\Phi \sin \varphi)^2 + (6950\Phi \cos \varphi)^2; \quad (11)$$

Pour φ très grand,

$$\mathcal{E} = 1{,}32 \times 10^8\mathfrak{J} + 6950\Phi; \qquad (14)$$

$$\cos \theta = \frac{1{,}32 \times 10^8\mathfrak{J} + 6950\,\Phi \sin \varphi}{\mathcal{E}}; \qquad (9)$$

$$2{,}2 \times 10^5 I = (\Omega - \omega)\,\Phi; \qquad (15)$$

$$\mathcal{C} = \frac{8\,(\Omega - \omega)\,\Phi^2}{2{,}2 \times 10^5}; \qquad (18)$$

$$\mathcal{C} = 8I\Phi. \qquad (19)$$

Marche des calculs d'application. — On commence par établir les valeurs de la réluctance r pour différents flux et on en trace une courbe. On peut alors procéder de différentes façons :

1° *On se donne le courant inducteur $\mathfrak{J}$ invariable.* — On part de flux différents en suivant certaine gradation. On connaît les valeurs correspondantes de r par la courbe ci-dessus indiquée et la formule (1) donne $\cos\varphi$;
la formule (5) fournit I ;
la résistance R étant connue, la relation (15) donne le retard $\Omega - \omega$;
la formule (18) ou (19 fournit le couple ; et ainsi de suite.

2° *On se donne la différence de potentiel $\mathcal{E}$, aux bornes, invariable.*

La formule (12) ou la formule (14) donne sensiblement le flux ; au besoin on pourra corriger après une première approximation ; Φ fournit r.

On se donne alors des angles φ et bien choisis — formule (1) — ou des couples convenables — formule (19) — et on continue comme au 1°. Il est préférable de se donner les angles φ qui permettent, si l'on veut, en revenant en arrière, de recalculer les flux en tenant compte de $\mathfrak{R}\mathfrak{J}$ (formule 11).

3° *On se donne la caractéristique externe de la génératrice.*

Il faut bien remarquer qu'il s'agit, pour obtenir une grande exactitude, de la caractéristique de la génératrice débitant dans une résistance à self-induction variable qui est le moteur. On pourrait évidemment au besoin se servir d'une résistance intermédiaire de réglage.

Dans ce troisième cas, on prend un certain nombre de points de la caractéristique aux bornes du moteur, que l'on s'est donnée, c'est-à-dire un certain nombre de couples de valeurs $\mathfrak{J}$ et $\mathcal{E}$ et on s'en sert pour déterminer les valeurs correspondantes des inconnues du moteur.

Les résultats étant obtenus dans les trois hypothèses ci-dessus, on peut en tracer des courbes qui permettent de préciser toutes les valeurs des inconnues fixant un régime déterminé.

Dans ce qui va suivre, nous ferons l'application des formules à notre moteur. De plus, nous calculerons les différentes pertes de puis-

sance pour chaque régime ainsi que les rendements industriels et les couples effectifs. Alors viendra la vérification expérimentale.

(*A suivre.*) SATURNIN HANAPPE.

SUR LA RÉSISTANCE
AU COURANT VARIABLE

I. — Un courant d'intensité variable avec le temps est supposé parcourir un conducteur qui est le siège d'une énergie liée au courant. Si cette énergie est représentée par une fonction $f(i)$ de l'intensité i du courant, la conservation de l'énergie donne pour l'intervalle de temps dt :

$$Ei\,dt = Ri^2dt + df(i), \qquad (1)$$

où E est la différence de potentiel aux deux extrémités du conducteur, R la résistance *réelle* de ce conducteur définie par l'effet Joule.

Dans le cas particulier où $f(i)$ est l'énergie $\frac{Li^2}{2}$ de self-induction, l'équation (1) devient l'équation de la self-induction :

$$Ei\,dt = Ri^2dt + d\frac{Li^2}{2},$$

analogue à l'équation :

$$Fv\,dt = fv^2dt + d\frac{mv^2}{2}, \qquad (1)'$$

de la conservation de l'énergie dans le mouvement d'une masse m soumise à l'action d'une force motrice F et d'une résistance de frottement fv proportionnelle à sa vitesse v [1].

L'équation (1) mise sous la forme :

$$Ri = E - \frac{f'(i)}{i}\frac{di}{dt}, \qquad (2)$$

et comparée à l'équation :

$$Ri = E$$

du courant constant conduit à généraliser la loi du courant constant en introduisant une force contre-électromotrice dont la valeur :

$$e = \frac{f'(i)}{i}\frac{di}{dt},$$

doit être retranchée de la différence de potentiel E. Dans le cas de la self-induction, e est la *force électromotrice* $L\frac{di}{dt}$ de self-induction.

De même l'équation (1)' mise sous la forme :

$$fv = F - m\frac{dv}{dt}, \qquad (2)'$$

et comparée à l'équation :

$$fv = F,$$

relative au mouvement uniforme, conduit à l'introduction de la *force d'inertie* $m\frac{dv}{dt}$ qui se retranche de la force motrice F.

Mais on peut aussi écrire l'équation (1) sous la forme :

$$\frac{E}{i} = R + \frac{f'(i)}{i^2}\frac{di}{dt},$$

d'où par comparaison avec :

$$\frac{E}{i} = R,$$

la notion d'une *résistance supplémentaire* :

$$r = \frac{f'(i)}{i^2}\frac{di}{dt},$$

qui s'ajoute à la résistance R de Joule.

De même l'équation (1)' écrite :

$$\frac{F}{v} = f + \frac{m}{v}\frac{dv}{dt}$$

conduirait à la notion d'un *frottement supplémentaire.*

Les deux points de vue de la force électromotrice supplémentaire et de la résistance supplémentaire sont équivalents au fait de la variation de l'énergie $f(i)$. L'une ou l'autre de ces équivalences est plus utile à considérer suivant qu'on expérimente en vue de mesurer une force électromotrice ou une résistance.

Dans le cas particulier de la self-induction,

[1] C'est dans cette analogie que l'on peut comparer la décharge continue ou oscillante d'un condensateur au mouvement apériodique ou oscillant d'un pendule qui se meut dans un milieu résistant.

la valeur de la résistance supplémentaire r devient :

$$r = \frac{L}{i}\frac{di}{dt}.$$

Pour mettre le phénomène en évidence, il suffit de mesurer par la méthode du pont de Wheatstone la résistance d'un conducteur de coefficient de self-induction L, formant l'un des côtés du pont, *en ayant soin de ne fermer la branche qui renferme le galvanomètre que pendant un temps très court.*

Soient R′, R″, R‴ les résistances des trois autres branches, qui ne renferment pas de self-induction et ne sont le siège d'aucune transformation d'énergie du courant autre que l'effet Joule. L'égalité de potentiel aux extrémités de la branche du galvanomètre à l'instant t de la fermeture donne pour conditions d'équilibre du galvanomètre à cet instant :

$$Ri + L\frac{di}{dt} = R'i',$$

$$R''i = R'''i'.$$

Le nombre $\mathfrak{R} = \frac{R'}{R'''}R''$ fourni par la méthode du pont pour *résistance apparente* de la branche R est donc bien :

$$\mathfrak{R} = R + \frac{L}{i}\frac{di}{dt}.$$

Si, en particulier, le courant i qui parcourt la branche R est le courant sinusoïdal

$$i = i_0 \sin 2\pi\frac{t}{T},$$

la résistance apparente supplémentaire est :

$$r = \frac{L}{i}\frac{di}{dt} = \frac{2\pi L}{T}\operatorname{cotg} 2\pi\frac{t}{T}.$$

On peut remarquer que le retard $2\pi\varphi$ du courant i par rapport à la différence de potentiel

$$E = E_0 \sin 2\pi\left(\frac{t}{T} + \varphi\right)$$

aux extrémités du conducteur R étant défini par

$$\operatorname{tg} 2\pi\varphi = \frac{2\pi L}{RT},$$

on a :

$$\frac{r}{R} = \frac{\operatorname{tg} 2\pi\varphi}{\operatorname{tg} 2\pi\frac{t}{T}},$$

c'est-à-dire que la variation relative de la résistance est donnée à chaque instant t par le rapport des tangentes du retard et de la phase du courant à l'instant t (1).

Un fait important est que r est, pour une même phase du courant, indépendante de l'amplitude i_0 d'oscillation du courant. Elle ne dépend que de la fréquence et du coefficient de self-induction auxquels elle est proportionnelle. Elle s'annule en changeant de signe quand la valeur absolue de l'intensité du courant est maxima. Elle change de signe en même temps que le courant; la formule donne une valeur infinie de r pour $i = 0$, mais l'expérience fait seulement connaître une valeur moyenne de la résistance apparente pendant la durée nécessairement finie de la fermeture du galvanomètre; pour une durée donnée de fermeture, la plus grande variation apparente de résistance s'observera quand la fermeture aura lieu tout entière immédiatement avant

(1) La *résistance apparente* $\mathfrak{R} = R + r$ qui vient d'être définie est à chaque instant la résistance réelle

$$\mathfrak{R} = \frac{E_0 \sin 2\pi\left(\frac{t}{T} + \varphi\right)}{i}$$

d'un conducteur dans lequel le courant constant i serait produit par *la différence de potentiel actuelle*

$$E_0 \sin 2\pi\left(\frac{t}{T} + \varphi\right).$$

$\mathfrak{R}$ est donc bien distincte de l'*impédance* $\mathfrak{R}_0$, qui est la résistance réelle d'un conducteur dans lequel le courant constant i serait produit non par la différence de potentiel actuelle, mais par *une différence de potentiel*

$$E_0 \sin 2\pi\frac{t}{T}$$

ayant la phase même du courant. C'est grâce à cette identité supposée de phase que l'impédance

$$\mathfrak{R}_0 = \frac{E_0}{i_0} = \frac{R}{\cos 2\pi\varphi} = \sqrt{R^2 + \frac{4\pi^2L^2}{T^2}}$$

est une *constante*, tandis que la résistance apparente $\mathfrak{R}$, définie d'après la différence de potentiel actuelle, varie périodiquement avec la phase du courant.

ou immédiatement après le changement de signe du courant.

Dans des expériences faites « sur la résistance du bismuth au courant variable[1] » M. Sadovsky réalisait un *équilibre permanent* du galvanomètre en fermant le galvanomètre à la même phase de chacune des périodes du courant au moyen d'un disjoncteur entraîné par l'alternateur qui fournit le courant. Il a trouvé que le bismuth aimanté par un champ puissant présente par rapport au courant croissant une résistance plus grande, et par rapport au courant décroissant une résistance plus petite que la résistance R au courant constant. En disposant des éléments Daniell en série avec l'alternateur qui produit le courant, M. Sadowsky élève ou abaisse la sinusoïde du courant sans en changer la forme. Quand la valeur de i est ainsi augmentée, la valeur de $\frac{di}{dt}$ restant la même, il trouve que r diminue et d'autant plus que i est plus grand c'est-à-dire qu'on ajoute un plus grand nombre d'éléments de pile. Au contraire, r augmente quand i diminue.

Or nous voyons que cette double influence se présente dans le cas d'une self-induction, cas où

$$r = \frac{L}{i}\frac{di}{dt}$$

Il n'y aurait aucune influence de la valeur de i indépendante de l'influence de $\frac{di}{dt}$ si l'énergie $f(i)$ était de la forme Pi^3, cas où l'on aurait

$$r = 3P\frac{di}{dt}$$

Ce serait une influence inverse de la première si $f(i) = Pi^4$, cas où

$$r = 4Pi\frac{di}{dt}.$$

et, d'une manière générale, si $f(i)$ croissait plus vite que i^3. *Si donc on constate l'existence d'une variation de résistance de même sens que $\frac{1}{i}$ et que $\frac{di}{dt}$, on peut essayer de l'expliquer par l'existence d'une énergie liée au courant et croissant moins vite que le cube du courant.* C'est ce que l'on peut déjà dire de la variation de résistance que le bismuth présente suivant la phase du courant dans les expériences de M. Sadovsky.

II. — Nous avons examiné jusqu'ici le seul cas de l'énergie de self-induction, que l'on peut considérer comme l'énergie d'aimantation du milieu ambiant. Si le conducteur traversé par le courant est magnétique, alors intervient l'énergie de l'aimantation circulaire due au courant. Soit un fil cylindrique rectiligne de fer de longueur l et de susceptibilité magnétique $\varkappa$; son énergie d'aimantation circulaire a pour valeur, d'après Kirchhoff[1] : $\pi\varkappa l i^2$. Cette énergie liée au courant entraîne, d'après ce qui a été dit plus haut, soit une contre-force électromotrice

$$2\pi\varkappa l\frac{di}{dt},$$

correspondant à une sorte de coefficient de self-induction supplémentaire

$$L' = 2\pi\varkappa l \text{ [2]},$$

ou à une résistance apparente supplémentaire

$$r = \frac{2\pi\varkappa l}{i}\frac{di}{dt}$$

variant avec la phase du courant.

Des expériences récentes sur l'augmentation apparente de self-induction due à l'aimantation circulaire sont dues à Klémenčič [3]; elles ont montré que la valeur totale $L + L'$ du coeffi-

[1] SADOVSKY. *Journal de la Société Physico-chimique russe*, tome XXVI, n° 2 ; année 1894 et *Journal de Physique*, 3e série, t. IV, p. 186 ; 1895.

[1] KIRCHHOFF. *Pogg. Annalen*, Ergängzungsband ; t. IV ; 1870.

[2] Cette augmentation de self-induction a été étudiée en particulier par :

VILLARI. *Rendiconti Lombard.* 15 avril 1869.

VOISENAT. *Journal de Physique*, 2e série, t. V, p. 278 ; 1886.

EMDEN. *Sitzungsber. der k. Bayer. Acad. d. Wissench.* ; t. XXII, p. 71-76, 1892.

[3] IGNAZ KLÉMENCIC. *Wiedemann's Annalen*, t. LIII p. 1053 ; 1894. — *Eclairage Electrique*, t. I, p. 522.

cient de self-induction d'un fil de fer doux de 1 m. de longueur et de 1 mm. de rayon atteignait jusqu'à 67 fois la valeur L = 1 180 cm. calculée sans tenir compte de l'aimantation circulaire. On peut admettre ces chiffres pour le cas d'un courant faisant quelques oscillations par seconde afin de calculer l'ordre de grandeur de la résistance apparente supplémentaire *r* que l'on observerait si, dans le dispositif indiqué plus haut, on fermait la branche du galvanomètre au douzième par exemple de chaque période du courant. Pour une fréquence de 4 par seconde, la formule :

$$\frac{r}{R} = \frac{2\pi(L + L')}{RT} \operatorname{cotg} 2\pi \frac{t}{T}$$

où l'on fait :

$$L + L' = 67L' = 67 \times 1180, \quad \frac{1}{T} = 4,$$

$$R = 3 \times 10^7 \qquad \text{et} \qquad \operatorname{cotg} 2\pi \frac{t}{T} = \sqrt{3},$$

donne :

$$\frac{r}{R} = 0{,}11,$$

tandis que la variation relative de résistance due à la self-induction L seule ne serait que :

$$\frac{2\pi\sqrt{3}\cdot 1180}{3\cdot 10^7 \cdot 4} = 0{,}0017.$$

Supposons maintenant le même fil de fer placé dans un champ magnétique constant de faible intensité pour que sa susceptibilité $\varkappa$ soit voisine de son maximum (250 pour les fers très doux). D'après la formule

$$\frac{r}{R} = \frac{2\pi(L + 2\pi\varkappa l)}{RT} \cot \frac{2\pi t}{T},$$

on trouve encore $\frac{r}{R} = 0{,}11$, si l'on prend $\varkappa = 130$, valeur parfaitement admissible.

Dans le premier cas, où il n'y a pas de champ extérieur, la valeur moyenne de $\varkappa$ dépend de l'amplitude i_0 du courant et diminue avec i_0. Les expériences citées de Klemenčič se rapportaient à la suppression d'un courant constant de 0,322 unités é. m. Avec un courant de 0,116 unités é. m. la self-induction réelle n'était déjà plus que 26,9 fois la self-induction géométrique L (au lieu de 67 fois), et, plus que 9,2 fois avec un courant de 0,012. Au contraire, dans le cas d'un champ extérieur et avec un faible courant, la valeur de $\varkappa$ demeure sensiblement imposée par le champ extérieur constant. Aussi peut-on supposer le courant sinusoïdal qui parcourt le fil aussi faible qu'on voudra ; on aura néanmoins une variation relative apparente de résistance de l'*ordre du dixième*.

Enfin il y a sans doute une influence très importante du champ extérieur dont nous n'avons pas tenu compte. Supposons le fil de fer placé normalement à ce champ magnétique ; il est, par cela même, aimanté transversalement.

Or, deux aimantations de directions différentes, en particulier une aimantation circulaire et une aimantation transversale, ont une influence mutuelle très sensible [1] : par exemple, Villari a montré que si l'on place normalement aux lignes de force d'un champ magnétique une tige de fer parcourue longitudinalement par un courant alternativement fermé ou interrompu, les fermetures du courant peuvent produire une diminution, et les interruptions une augmentation (égale d'ailleurs) du magnétisme ordinaire résiduel. Ainsi la variation de l'énergie d'aimantation circulaire entraîne une variation de l'énergie d'aimantation transversale. On est conduit à supposer que, pour un fil de fer parcouru par un courant faisant quelques oscillations par seconde, l'oscillation de l'énergie d'aimantation circulaire entraîne une oscillation de l'énergie d'aimantation transversale. Ce phénomène peut modifier profondément le résultat calculé plus haut. On conçoit même que, si $\varkappa$ a une valeur trop faible, l'énergie d'aimantation circulaire ne puisse pas produire par elle-même de self-induction notable, mais qu'elle

[1] D'après Wiedemann, Siemens. — P. Janet ; *Comptes Rendus* ; t. CVIII, p. 398 ; 1889. — Villari ; *Il nuovo Cimento*, t. XXXIII, p. 152, 193 et 241 ; t. XXXIV, p. 49 ; et *Journal de Physique*, 3e série, t. III, p. 575-577 ; 1894.

en produise une indirectement, grâce à l'oscillation qu'elle provoque dans l'énergie d'aimantation transversale ([1]).

Ces phénomènes de variation apparente de résistance, que des expériences sur le courant variable constateraient avec un fil de fer, doivent tendre d'ailleurs à disparaître quand le champ extérieur où est placé le fil de fer augmente suffisamment d'intensité, puisqu'alors la susceptibilité magnétique du fer tend vers zéro et, par suite, son énergie d'aimantation aussi ; il ne resterait plus alors que la self-induction géométrique, dont l'influence ne produit qu'une variation relative de résistance égale à 0,0017 dans l'exemple cité plus haut.

Dans le cas du bismuth, la susceptibilité est beaucoup moindre $\kappa = 1,5 . 10^{-6}$ et l'aimantation circulaire ne représente qu'une faible quantité d'énergie, sans influence sur la résistance apparente, du moins tant que le bismuth n'est pas soumis à un champ magnétique extérieur. Mais, si le bismuth est placé dans un champ magnétique intense, il se peut bien qu'on ait le phénomène de l'oscillation de l'aimantation transversale grâce à l'espèce de trépidation magnétique, représentée par les oscillations, même faibles, de l'aimantation circulaire. Comme l'énergie d'aimantation transversale est, dans un champ très intense, beaucoup plus considérable que celle de l'aimantation circulaire, on se rend facilement compte de variations de quelques millièmes de la résistance en admettant qu'une portion très faible de l'énergie d'aimantation transversale est entraînée dans les oscillations de l'énergie d'aimantation circulaire. Telle est une cause qu'on peut tenter de donner à l'effet observé par M. Sadovsky, de la différence de quelques millièmes qui se présente entre les résistances du bismuth au courant constant et au courant croissant, le bismuth étant placé normalement à un champ magnétique très intense (environ 20 000 unités). En tout cas, ce phénomène, n'existant que si le bismuth est placé dans le champ magnétique de 20 000 unités, est bien lié au magnétisme du bismuth. La variation de résistance étant d'ailleurs de même sens que $\frac{1}{i}$ et $\frac{di}{dt}$, le phénomène, d'après ce qu'on a dit plus haut, a vraisemblablement son origine dans l'existence, liée à l'aimantation énergique du bismuth, d'une énergie variant avec le courant et croissant moins vite que le cube du courant.

III. — Examinons en dernier lieu un cas où l'énergie $f(i)$ n'est pas électromagnétique mais chimique. Il suffit pour cela de supposer que l'on introduise un accumulateur dans l'un des côtés d'un pont de Wheatstone toujours parcouru par un courant oscillant, la branche du galvanomètre n'étant fermée qu'à une phase déterminée de chaque période. E étant la différence de potentiel oscillante aux deux extrémités de la branche de résistance totale R qui renferme l'accumulateur, e la force électromotrice de l'accumulateur que l'on peut supposer constante, l'équation de l'énergie est :

$$Ei\,dt = Ri^2 dt + ei\,dt, \qquad (1)$$

en négligeant pour simplifier tous les effets autres que l'effet Joule et que l'énergie $eidt$ dépensée pendant la durée de la charge (courant positif) ou recueillie pendant la durée de la décharge de l'accumulateur (demi-période négative du courant). Sous la forme :

$$Ri = E - e \qquad (2)$$

on met en évidence la force électromotrice e qui est ici constante et existe indépendamment de l'état variable du courant. Sous la forme :

$$\frac{E}{i} = R + \frac{e}{i} \qquad (3)$$

on met en évidence la résistance apparente supplémentaire

$$r = \frac{e}{i} = \frac{e}{i_0 \sin 2\pi \frac{t}{T}}$$

que l'expérience constatera avec le dispositif indiqué.

([1]) La constation de ce fait serait la réalisation avec le fer du phénomène singulier que présente le bismuth non plus dans un champ faible, mais dans un champ très puissant.

On trouvera que la résistance apparente est plus grande que la résistance réelle pendant que l'accumulateur se charge (courant positif), surtout au début et à la fin de la charge ; elle est plus faible au contraire pour les demi-périodes négatives du courant pendant lesquelles l'accumulateur se décharge. Pour une même phase du courant, la résistance apparente supplémentaire r sera trouvée d'autant plus grande que l'amplitude i_0 du courant sera plus faible. C'est dire que l'erreur introduite dans une mesure de résistance par l'électrolyse provenant d'un défaut d'isolement *même très faible* des spires des boîtes est à craindre quand le courant qui traverse ces spires est faible *et d'autant plus à craindre que ce courant est plus faible.*

IV. — Si, au lieu de ne fermer la branche du galvanomètre qu'à une même phase de chaque période, on la maintient constamment fermée, on étudie la résistance au courant oscillant. Comme la résistance apparente $\mathfrak{R} = R + r$ à chaque instant dépend de la phase du courant, le galvanomètre n'aura pas en général de position d'équilibre, à moins que la période d'oscillation du courant ne soit assez faible vis-à-vis de la période d'oscillation de l'aiguille pour que les impulsions de signes contraires superposent leurs effets. Mais le téléphone, mis à la place du galvanomètre, ne serait pas muet. On ne pourra donc pas définir une résistance apparente au courant oscillant par l'équilibre du pont, mais seulement par le minimum plus ou moins net de l'oscillation du galvanomètre ou du bruit du téléphone.

Si la variation de l'énergie $f(i)$, qui produit à elle seule l'effet r, s'effectue sans hystérésis, la mesure de résistance, faite en réalisant le minimum d'oscillation du galvanomètre ou le minimum de bruit du téléphone, donne précisément la résistance réelle R. C'est ce qui arrive dans le cas d'une self-induction. Il peut en être autrement pour l'énergie variable d'aimantation du conducteur R. Nous n'avons pas tenu compte, dans l'étude de la résistance au courant variable, de l'hystérésis d'aimantation qui peut intervenir pour rendre les résistances aux courants croissant et décroissant inégalement distantes de la résistance au courant constant.

Cette influence subsistera dans le cas où l'on observe la résistance O au courant oscillant qui paraîtra de ce chef supérieure à la résistance C au courant constant.

Y a-t-il un effet de ce genre dans les expériences de M. Ph. Lenard [1] et de M. Sadovsky [2] sur la résistance du bismuth au courant oscillant? Ces expériences ont montré que le bismuth placé normalement à un champ magnétique F a une résistance O au courant oscillant supérieure à la résistance C au courant constant. Nous pouvons en tout cas remarquer que l'excès O — C donné par les expériences de M. Ph. Lenard croît à peu près comme le carré F^2 du champ magnétique, c'est-à-dire comme l'énergie d'aimantation transversale du conducteur de bismuth.

La fréquence employée étant assez grande dans ces expériences (10 000), une petite partie des effets observés peut être due à la variation de résistance qui se produit dans tout conducteur parcouru par un courant oscillant, phénomène étudié en particulier par lord Kelvin et par Stefan [3]. Cette dernière influence n'intervient pas dans les expériences relatives à la résistance du bismuth au courant variable, avec 4 oscillations du courant par seconde. La fréquence n'est pas alors assez grande pour rendre la distribution du courant en partie superficielle et l'on a pu discuter plus haut l'influence de l'énergie d'aimantation circulaire en appliquant la formule de Kirchhoff qui suppose la densité du courant uniforme dans toute la section du fil.

V. — On a toujours supposé jusqu'ici qu'un

---

(1) Ph. Lenard, *Wiedmann's Annalen*, t. XXXIX, p. 619-646 ; 1890; et *Journal de Physique*, 2e série t, X, p. 569 ; 1891.

(2) *Loc. cit.*

(3) Stefan. *Wied. Ann.*, t. XLI, p. 400-420 ; 1890. — *Journal de Physique*, 2e série, t. X, p. 576 ; 1891. — *La Lumière Électrique*, t. L, p. 415 ; 1893. — *L'Éclairage Électrique*, t. I, p. 437.

seul des 4 côtés du pont était le siège d'une transformation d'énergie autre que l'effet Joule (self-induction, aimantation variable, électrolyse). Mais si 2 côtés au moins du pont sont affectés de transformations d'énergie autres que l'effet Joule, il devient possible de réaliser l'équilibre du pont en régime variable et l'on peut définir une résistance apparente au courant oscillant par l'équilibre du galvanomètre ou le silence du téléphone.

Si, par exemple, on a une self-induction L dans R et une self-induction L″ dans R″, les conditions d'équilibre.

$$Ri + L\frac{di}{dt} = R'i'$$

$$R''i + L''\frac{di}{dt} = R'''i'$$

sont réalisées à chaque instant si :

$$\frac{R}{R''} = \frac{L}{L''} = \frac{R'}{R'''}.$$

C'est le principe de la méthode de Maxwell pour déterminer le rapport $\frac{L}{L''}$ de deux coefficients de self-induction, en établissant l'équilibre du pont d'abord pour le courant constant, puis pour le courant variable.

L'étude du cas où plus de deux côtés du pont renferment des self-inductions est plus complexe. M. Abraham [1] a montré que si l'on a réalisé les conditions d'équilibre permanent du pont pendant le régime variable, la branche de résistance réelle R′ a une résistance apparente

$$\mathfrak{R} = \frac{R'}{R'''} R''.$$

qui est inférieure à R′ d'une quantité proportionnelle au carré de la fréquence. On voit aisément que la diminution apparente R′ — R de la résistance disparaît seulement dans le cas particulier :

$$\frac{L}{R} = \frac{L'}{R'} = \frac{L''}{R''} = \frac{L'''}{R'''}.$$

[1] Abraham. Courants alternatifs et pont de Wheatstone, *Comptes rendus*, t. CXVIII, p. 1251 ; 1894. — *La Lum. Elect.*, t. LIII, p. 94 ; 1894. — *L'Ecl. Elect.*, t II, p. 270 ; 1895.

Le cas où deux côtés au moins du pont sont affectés de polarisation à force électromotrice constante est particulièrement simple. Les conditions d'équilibre :

$$Ri + e = R'i' + e',$$
$$R''i + e'' = R'''i' + e'''.$$

sont constamment satisfaites si l'on a :

$$\frac{R}{R''} = \frac{e - e'}{e'' - e'''} = \frac{R'}{R'''}.$$

Donc, quand le téléphone est au silence, *la résistance apparente est pour chaque côté du pont égale à sa résistance réelle.*

S'il n'y a que les deux forces électromotrice e et e'', dans R et R″, on connaîtra leur rapport $\frac{e}{e''}$ par $\frac{R'}{R'''}$. Si l'on opère avec deux éléments de pile, les résistances intérieures ρ et ρ'' de ces éléments sont comprises dans $R = r + \rho$ et $R'' = r'' + \rho''$, r et r'' étant les résistances des boîtes, mais elles n'interviennent pas dans R′ et R‴ en sorte que $\frac{e}{e''}$ se détermine bien par $\frac{R'}{R'''}$ sans connaître ρ ni ρ''. On aura même une relation entre ρ et ρ'' *par la même expérience*, car on a :

$$\frac{r + \rho}{r'' + \rho''} = \frac{R'}{R'''}.$$

C'est là une *méthode pour comparer les forces électromotrices de deux piles, analogue à la méthode de Maxwell pour comparer deux coefficients de self-induction ;* l'expérience sera d'ailleurs conduite de la même façon. On pourra aussi opérer avec un courant alternatif et un téléphone.

D'une manière générale, supposons que les deux côtés du pont R et R″ sont le siège de transformations d'énergie autres que l'effet Joule, régies par des fonctions $f(i)$ de l'intensité du courant qui diffèrent seulement par un facteur constant, C pour le côté R et C″ pour le côté R″. L'équilibre du pont en régime variable sera réalisé à chaque instant si l'on a :

$$\frac{R}{R''} = \frac{C}{C''} = \frac{R'}{R'''}.$$

L'influence des deux variations d'énergie considérées sur la mesure des résistances sera alors supprimée. De là aussi une *méthode pour ramener la comparaison de deux coefficients C à celle de deux résistances.*

La possibilité de rétablir l'équilibre démontre que la fonction $f(i)$ est la même à facteur constant près C, pour les deux côtés R et R″ du pont, dans les limites entre lesquelles on a fait varier i. On pourrait constater que deux tiges de fer de même longueur et de même diamètre, l'une dans le côté R du pont, l'autre dans le côté R″ ont des susceptibilités $\varkappa$ et $\varkappa''$ identiques entre elles quelle que soit l'intensité i du courant variable employé, en vérifiant que le téléphone est au silence quand $R = R' = R'' = R'''$ ou que le galvanomètre ne dévie pas lors de la suppression du courant.

Quant à l'étude de la fonction $f(i)$, elle se fera dans le cas où $f(i)$ affecte un seul côté du pont. On déterminera la loi du courant variable i et la variation apparente r de résistance pour chaque valeur de i (¹). L'application de la relation

$$r = \frac{f'(i)}{i^2} \frac{di}{dt},$$

permettra de remonter à la connaissance de $f(i)$.

G. SAGNAC.

N. B. — Dans un mémoire « sur la mesure de la conductibilité du bismuth placé dans un champ magnétique (²) », M. A. Griffiths trouve des résultats qui paraissent confirmer les expériences de M. Sadovsky (³). M. Griffiths donne des phénomènes présentés par le bismuth une théorie qui présente quelque concordance avec les vues que nous avons exposées dans cet article et que nous avions déjà indiquées brièvement dans une remarque qui suit l'analyse du mémoire de M. Sadovsky (¹).

La théorie de M. Griffiths repose sur cette idée que les particules de bismuth aimantées par le champ puissant oscillent sous l'influence du courant alternatif qui parcourt la spirale de bismuth. L'étude directe du déplacement u des particules exige alors quelques hypothèses supplémentaires pour conduire aux lois de variation de la résistance apparente.

Nous nous sommes placés au point de vue de l'énergie. Nous sommes partis de faits, connus dans le cas du fer, relatifs à l'entraînement réciproque de l'aimantation circulaire et de l'aimantation transversale, pour en induire que l'oscillation de l'aimantation circulaire doit entraîner une oscillation de l'énergie d'aimantation transversale. Nous regardons alors les phénomènes présentés par le bismuth non pas comme des propriétés spéciales de ce métal mais comme une simple extension de phénomènes voisins présentés par le fer.

G. S.

(¹) Bien entendu ces expériences exigeraient l'emploi de résistances sans self-induction, ni capacité parasite, ni électrolyse.

(²) *Philosophical Magazine*; t. XXXIX, p. 233; 1895. — *Eclairage Electrique*; t. III, p. 180; 1895.

(³) SADOVSKI. *Journal de la Société Physico-chimique russe*, t. XXVI, n° 2, 1894.

(¹) *Journal de Physique*, 3ᵉ série, t. IV, p, 186; 1895.

REVUE DE LA PRESSE INDUSTRIELLE ET DES INVENTIONS

Rhéostat automatique Hartnell.

Cet appareil a pour but de permettre à distance la mise en train graduelle et sans étincelle des électromoteurs. A cet effet, l'on intercale (fig. 5) dans le circuit principal S du dynamoteur MM′, un rhéostat à résistances G^1, G^2, G^3,... dont, le bras C est commandé par un solénoïde A, en dérivation sur S comme l'inducteur M¹ de M. Le bras C du schéma figure 5 est, en réalité remplacé par une série de bras $C_1 C_2$ (fig. 1 et 2) dont on règle à volonté l'orientation sur un axe B¹ de manière que sa rotation vienne les

plonger successivement dans les auges à mercure D_1 D_2... reliés aux résistances du rhéostat par autant de fils c_1 c_2 c_3 : le courant arrive au rhéostat par le disque C, constamment plongé

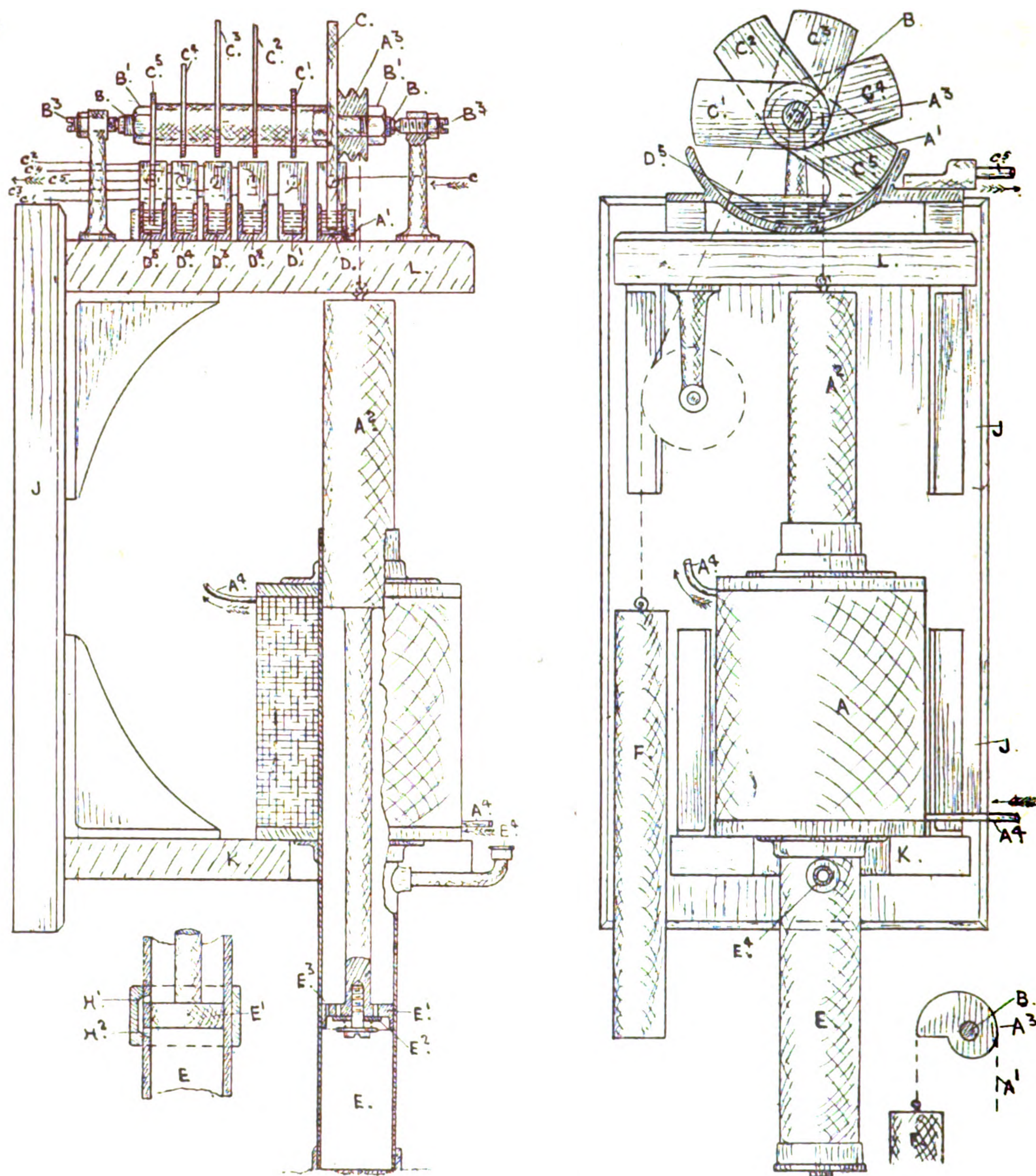


Fig. 1 à 4. — Rhéostat automatique Hartnell. Élévation vue par bout. Détail du dash pot et de la canne A_3.

dans le mercure D. Quant à l'armature A_2 du solénoïde A_1, qui actionne l'arbre B_1 par une poulie A_3, fig. 4 avec corde à contrepoids F, ses mouvements sont régularisés par un dash pot à air E, à piston E_1' dont les ouvertures E_3 ne lui permettent de descendre qu'avec une certaine lenteur, tandis que la soupape E_2 lui permet de remonter rapidement sous le rappel

de F. On peut aussi disposer, aux points de la course du piston E_1 correspondant à l'entrée des bras C_1 C_2 dans leurs auges, des conduits

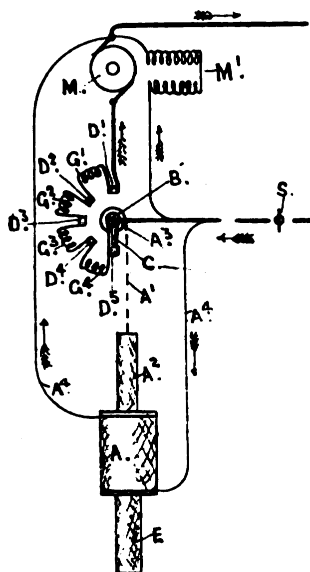


Fig. 5. — Rhéostat automatique Hartnell. Schéma des circuits.

H_1 H_2 (fig. 3) qui en accélèrent le passage et empêchent la formation d'étincelles.

Dans le dispositif (fig. 6) on a remplacé les résistances G_1 G_2 par celle d'un liquide acidulé que le courant doit traverser sur une épaisseur d'autant moindre que la spirale C_2 y plonge

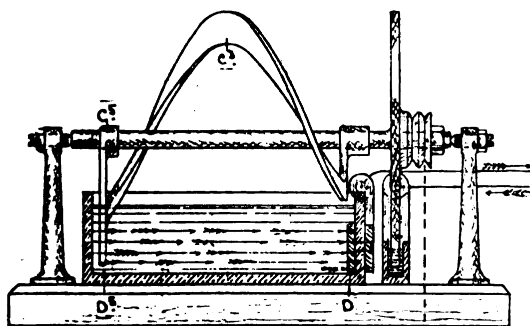


Fig. 6. — Rhéostat automatique Hartnell à liquide acidulé.

davantage. Dans la position figurée le courant doit traverser toute l'épaisseur du liquide, de C_2 à D_1.

En figure 8 on a remplacé le solénoïde des types précédents par un électro-aimant à résistance magnétique minima A_5 A_6 (fig. 7) avec pôle fixe A_7 et armature fixe A_8, et l'on a disposé le rhéostat de manière que, à partir d'une certaine intensité du courant, il réintercale par les contacts D_0 et D_{00} les résistances D_1 D_4. On

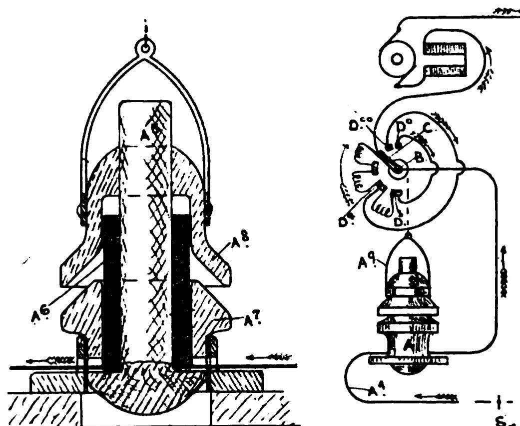


Fig. 7 et 8. — Rhéostat automatique Hartnell avec inverseur.

évite ainsi tout danger provenant d'une surcharge possible du moteur.

Électrodes Kellner (1894).

Les électrodes *a* sont constituées par des bandes de platine enfoncées dans une planche

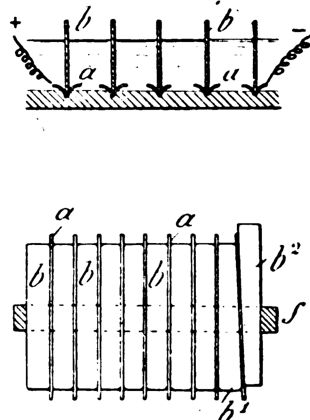


Fig. 1 et 2.

d'ébonite et divisées, par des cloisons *b*, en deux parties agissant l'une comme électro-positive et l'autre comme électro-négative,

disposition qui en augmente la surface en même temps que l'étendue des arêtes de dégagement des gaz, ce qui permet d'augmenter la densité du courant.

L'on a grand avantage à multiplier ces électrodes en les superposant sur une même cloison. On peut, à cet effet, leur donner la forme de tiges ou de plaques *a a*, séparées par des tassaux d'ébonite *b*, avec serrage par coins b_1 b_2 dans un cadre *f*; ou encore celle de plaquettes de carbone *a*, enfourchées sur les cloisons *b*. On peut aussi (fig. 5) sertir ces plaques *a* dans un gâteau de plâtre *d*, consolidé par une pâte de soufre ou d'asphalte *b*,

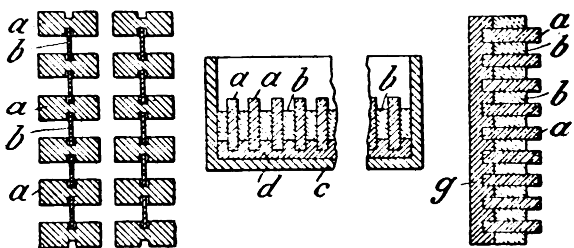


Fig. 3 à 6.

puis retirer le tout du moule, sous la forme d'une électrode crénelée (fig. 6) dont on peut d'ailleurs remplacer la semelle de plâtre par une armature de métal *g* : en zinc par exemple.

G. R.

A propos de l'Exposition universelle de 1900, par G. Claude.

On a souvent proposé d'utiliser les chutes d'eau artificielles créées par les barrages construits en vue de faciliter la navigation sur les fleuves, pour engendrer une puissance mécanique qu'on pourrait ensuite transmettre électriquement pour l'utiliser dans les environs. Nos lecteurs ont déjà été entretenus de projets de ce genre relativement aux barrages établis sur la Seine, près de Paris. Mais ces projets insuffisamment étudiés, ont peu attiré l'attention. Notre sympathique collaborateur M. G. Claude, reprend aujourd'hui la même idée et propose d'utiliser le barrage de Suresnes pour développer une puissance de plusieurs centaines de chevaux qui serait transmise électriquement sur les terrains de l'Exposition universelle de 1900 où elle servirait soit à actionner des moteurs, à animer des châteaux d'eau, ou à l'éclairage.

Voici comment il expose son projet dans l'*Etincelle Électrique* :

« L'Exposition de 1900 approche; l'électricité qui doit prêter son concours le plus large, sera certainement pour beaucoup dans le succès final ; en dehors de « l'orgie de lumière », que M. Mascart, après Chicago, déclare indispensable, en dehors de la place prépondérante que l'électricité se sera certainement acquise dans les moyens de transport, ce sera à elle de donner la vie à d'innombrables machines, d'émerveiller la foule par les applications auxquelles si docilement elle se prête.

« Il est à ce propos une idée qui ne nous paraît pas s'être présentée encore aux organisateurs et qui mérite, croyons-nous, d'être étudiée avec quelque attention. Elle consiste à répéter sur une plus grande échelle l'expérence du transport électrique à distance de l'énergie qui fit à elle seule, en 1891, le succès de la célèbre Exposition de Francfort, à demander *à la Seine*, au moyen de l'énergie captée à l'un des nombreux barrages établis sur son cours, de contribuer ainsi doublement à la réussite.

« Cette idée, hâtons-nous de le dire, s'est déjà présentée lors de l'Exposition de 1889; elle était un peu prématurée pour l'époque et sa réalisation eût pu sembler alors quelque peu téméraire ; mais la situation, depuis lors, s'est bien considérablement modifiée.

« Sans doute, l'expérience n'aurait ni la portée ni le retentissement de celle de Francfort au point de vue particulier de la nouveauté scientifique, puisque déjà de nombreuses installations de ce genre sont en plein fonctionnement; ce serait à cet égard plutôt une consécration. Elle s'impose néanmoins, car le transport de l'énergie est incontestablement l'un des progrès capitaux réalisés par l'industrie humaine et il importe que ce progrès soit représenté sur une échelle digne de lui dans cet amoncellement de merveilles que sera

l'Exposition. Puis il n'importe pas moins de donner la démonstration palpable, si souvent désirée, mais jamais réalisée, de la possibilité d'utiliser pour l'industrie de la région parisienne les *trente mille chevaux* environ développés, aux basses eaux, aux vingt-deux barrages établis sur la Seine depuis le confluent de l'Yonne. D'ailleurs, l'installation qu'il s'agirait de réaliser pourrait fort bien ne pas affecter le caractère d'une installation provisoire, devant la dépense de laquelle on serait amené à reculer, mais être définitivement utilisée à la distribution de l'énergie dans Paris, servant d'amorce à cette utilisation complète des eaux de la Seine qu'il y a lieu de souhaiter.

« Au surplus, dès à présent, les barrages existent, et il y aurait lieu simplement de les approprier, ou plutôt d'en approprier un seul à cette nouvelle destination.

« Quant à l'emplacement de l'usine génératrice, rien n'empêcherait, par exemple, de l'établir au barrage de Suresnes, soit à 10 km. à peu près, distance parfaitement suffisante pour rendre probante la démonstration; on pourrait y utiliser dans les circonstances les plus défavorables plus de 60 m. cubes d'eau à la seconde sous une chute de 3 m. correspondant à une puissance théorique de 2 400 chevaux, soit 1 800 chevaux aux turbines et 1 600 chevaux aux dynamos génératrices, dont plus de 1 300 pourraient être recueillis à l'Exposition.

« Une semblable puissance ne serait pas un appoint négligeable, même en cette circonstance où l'énergie sous toutes ses formes sera dépensée sans compter. A quoi, cependant, y aurait-il lieu d'affecter plus particulièrement ce supplément? Ceci sort un peu de la question, mais il semble cependant tout indiqué, que empruntée à l'eau, cette puissance soit consacrée aux choses hydrauliques.

« L'eau apporte avec elle la gaîté; elle est, dans une manifestation de ce genre, l'une des choses qui concourent le plus à la beauté du coup d'œil, l'un des éléments les plus indispensables de succès. Il faut que, comme la lumière, partout elle coule à flots. Malheureusement, nous n'avons pas à Paris le décor grandiose du lac de Chicago, il faut nous y contenter de la Seine, et on sait de quel poids a pesé le fleuve parisien dans les préoccupations des organisateurs de toutes nos expositions.

« Ne serait-il pas intéressant dès lors de demander à la Seine, au moyen de l'énergie même qui en aurait été captée, de se répandre à profusion dans toutes les parties de l'Exposition, dans les palais comme dans les jardins, tombant ici en bouillonnantes cascades, s'élevant là en jets d'eau étincelant sous les rayons du soleil ou de l'arc électrique, ailleurs, enfin, circulant avec lenteur en de capricieux méandres?

« Et ce ne serait pas peu qu'on pourrait faire dans cette voie : un calcul bien simple montre que les 1 300 chevaux recueillis, employés à actionner des turbines, permettraient d'élever à 20 m. de hauteur plus de 3 000 litres d'eau *par seconde*, mettant ainsi à la disposition des organisateurs un véritable fleuve. »

L'expérience serait intéressante; elle est certainement réalisable. Le succès de l'entreprise dépend de l'exécution. Tel que M. Claude le présente, son projet ne se distingue de ses aînés que par son actualité. L'application proposée ne serait pas suffisante pour justifier les dépenses considérables auxquelles elle donnerait lieu. Nous ne croyons pas, d'ailleurs, que l'administration de l'Exposition en ferait les frais. Il serait donc nécessaire de présenter un projet plus complètement étudié quant à l'application ultérieure de l'installation proposée.

G. P.

Réactions d'induit dans un alternateur simple et un alternateur polyphasé, par Ossian Chrytraeus.

Il n'a jamais été, que je sache, dit l'auteur dans *The Electrical World*, donné de comparaison entre les réactions d'induit d'alternateurs simples et polyphasés. Cette étude peut cependant offrir quelque intérêt. L'objet de cet article est précisément de représenter

graphiquement ces actions sur les champs de différentes machines.

On sait que la réaction de l'induit sur le champ d'une machine à courants alternatifs ne dépend pas seulement de l'intensité du courant qu'il laisse passer, mais aussi de la position des bobines par rapport aux pôles. La position d'action maxima correspond au passage des fils induits entre les pôles; cette action est nulle, au contraire, quand les conducteurs passent sous les pôles. Pour arriver

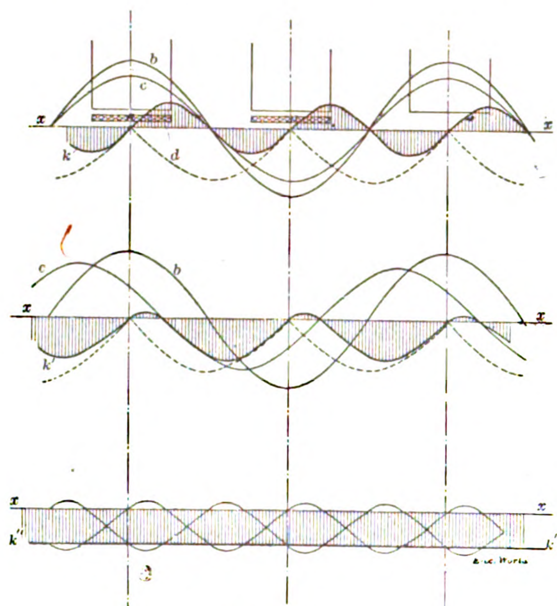


Fig. 1, 2, 3.

à une représentation graphique des faits, supposons qu'un courant continu passe dans la bobine (fig. 1) d'un alternateur ordinaire, et représentons par une courbe son action sur le champ pour ses différentes positions. Cette courbe permettra dès lors d'obtenir la proportion d'ampère-tours de l'induit qui réagit sur le champ. Soit d cette courbe. Nous admettrons qu'elle est sinusoïdale; il n'en est pas absolument ainsi; mais l'approximation est suffisante. Dans le même diagramme, la sinusoïde b représente la f. é. m., et c, l'intensité du courant, dont la phase concorde avec celle de la f. é. m. On peut alors déterminer la réaction due au courant, les ordonnées de la courbe c donnant l'intensité de ce courant, et les ordonnées correspondantes de d, la proportion qui en est active. On obtient ainsi la courbe k qui sur le diagramme se renverse chaque fois que les fils passent dans la ligne axiale des pôles, attendu que le même courant agit de part et d'autre en opposition avec le champ. La réaction sur le champ est donc représentée par la courbe k; en d'autres termes, cette courbe représente le courant qui devrait circuler dans une bobine supplémentaire sur l'inducteur pour produire le même effet sur le flux.

Si le courant dans l'induit est décalé, en arrière, par rapport à la f. é. m., le courant qui devrait parcourir la bobine supplémentaire est représenté par la courbe k' de la figure 2, déduite de la courbe d'intensité c de la même manière que précédemment.

La fluctuation des lignes de force que détermine naturellement ainsi la réaction d'induit dans un alternateur simple causera nécessairement une perte due à des courants parasites. De plus, une machine qui, sans charge, donnerait une sinusoïde parfaite, présentera, quand elle sera chargée, une courbe de f. é. m. tordue sur elle-même.

On représente la réaction dans un alternateur diphasé en combinant les actions dues aux bobines dans les deux phases. Ces bobines sont montées à 90° l'une de l'autre, et la réaction pour chaque bobine individuelle doit être celle de l'alternateur simple pour le même décalage du courant. Supposons maintenant, tout d'abord, qu'il n'y ait dans aucune des deux phases de décalage du courant par rapport à la f. é. m. On se trouve alors dans les conditions indiquées par la figure 1; mais il faut combiner l'action des deux courbes semblables k décalées l'une par rapport à l'autre d'un quart de période, et, comme il est facile de le voir, elles se neutraliseront complètement.

Si le courant est décalé par rapport à la f. é. m., et également dans les deux phases, on se retrouvera, pour chaque phase, dans les conditions de la figure 2. La résultante de ces deux effets combinés est donnée par k'' dans la figure 3.

La réaction d'induit dans un générateur diphasé a donc pour résultat de produire dans le champ une désaimantation fixe qui varie uniquement avec l'angle de décalage.

Si, au lieu d'un alternateur diphasé, on cherchait de même la réaction dans un alternateur triphasé ou polyphasé quelconque, on arriverait naturellement à un résultat semblable. E. B.

Marche en parallèle de machines compound, par J. Pigg.

Sans vouloir intervenir dans une discussion actuellement pendante en Angleterre sur cette question, ni formuler une opinion sur les mérites des méthodes préconisées de part ou d'autre pour la résoudre, l'auteur se borne à publier dans *The Electrician*, de Londres, la description d'un mode de répartition de charge entre un certain nombre de machines compound montées en parallèle, employées dans la station d'éclairage électrique de la Compagnie du North-Eastern Railway, à York. Bien que ce procédé, qui donne toute satisfaction, ne paraisse pas en usage dans d'autres stations, un mode de faire sanctionné par la pratique est cependant, malgré la modestie de l'auteur, le meilleur argument à jeter dans la balance d'une discussion théorique.

L'installation comprend quatre dynamos hypercompoundées, attelées directement sur des moteurs Willans et reliées parallèlement aux barres omnibus du tableau distributeur de la station, pour alimenter trois circuits, dont l'un comporte à la fois des foyers à arc et des lampes à incandescence. Les seuls ampèremètres employés sont montés dans les circuits de lampes et ne peuvent servir au contrôle des charges supportées par les différentes machines. Les voltmètres sont ordinairement maintenus sur les fils-pilotes, de manière à indiquer la différence de potentiel existant aux extrémités des conducteurs principaux; mais ils permettent naturellement d'ajuster la différence de potentiel de toute nouvelle machine mise en action avec celle des barres omnibus. L'installation comporte bien des rhéostats de réglage en dérivation, mais ils fonctionnent tous ensemble et le contrôle indépendant de l'excitation en dérivation n'est ni possible, ni nécessaire. On ne se sert de ces résistances qu'accidentellement pour régler la différence de potentiel aux extrémités des conducteurs principaux.

On a recours au câble ordinaire de connexion des balais positifs des machines, et chacune d'elles est munie d'un interrupteur aboutissant à ce câble, ce qui permet de l'introduire dans son circuit ou de l'en retirer suivant les exigences de la charge. Il existe également trois petits indicateurs sans graduation, formés d'une aiguille *polarisée* entourée d'un petit nombre de spires de fil; ils sont individuellement intercalés entre les balais positifs de chaque *paire* de machines. Si, à un instant quelconque, il passe un courant entre deux machines fonctionnant en parallèle, une partie s'en dérive par le fil de l'indicateur et fait dévier son aiguille. Les bobines de ces indicateurs sont d'ailleurs roulées de telle sorte que l'index dévie vers le numéro de la machine qui envoie du courant dans l'autre. Le surveillant du tableau n'a alors qu'à réduire la vitesse d'un des moteurs ou à augmenter celle de l'autre, suivant le cas, jusqu'à ce que l'index reprenne sa position verticale. Les indicateurs sont naturellement montés sur le tableau de manière à permettre au surveillant de les voir en manœuvrant le régulateur de vitesse d'un moteur quelconque. Presque tout le réglage s'effectue ainsi, les résistances en dérivation ne servant qu'occasionnellement, comme on l'a vu, au réglage de la tension indiquée par les fils-pilotes, et jamais à la répartition de la charge entre les machines.

Cette disposition a pour but, comme on le voit, d'assurer l'égalité de potentiel aux balais des machines ; ce résultat une fois obtenu, on est certain qu'aucune machine ne se déverse dans une autre.

Comme la chute de potentiel entre les balais de chaque machine et les barres omnibus est

la même, il est nécessaire avec cette disposition (que les machines aient ou non des débits identiques), que la résistance des diverses machines entre les balais et les barres omnibus (enroulement en série et câbles de connexion) varie en raison inverse de leur débit maximum. Sans la réalisation de cette condition, la capa-

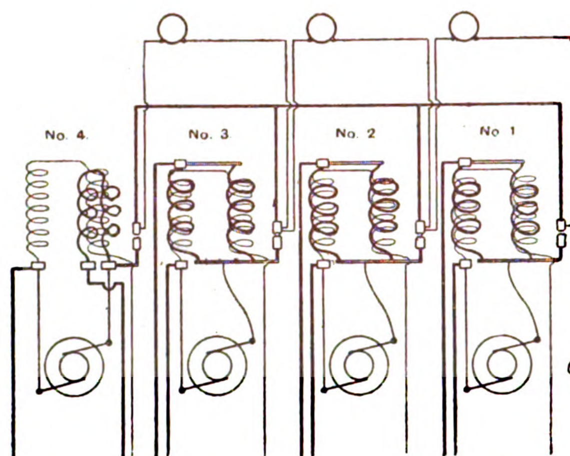


Fig. 1. — Liaison au tableau des câbles principaux et des fils de dérivation.

cité totale de fonctionnement sûr de l'installation sera réduite.

La figure ci-dessus complète cette description sommaire en en facilitant l'intelligence.

E. B.

Réglage à distance des électromoteurs, par C. F. Jenkins.

Aujourd'hui que l'électricité est appelée à remplacer, dans une mesure plus ou moins grande, l'air comprimé dans les travaux de mines, l'ingénieur se trouve en présence d'un grand nombre de problèmes nouveaux. L'un des plus intéressants est la manœuvre des wagonnets à minerai. L'auteur s'occupait il y a quelques années de l'entretien des machines, compresseurs, élévateurs, etc., dans une importante mine d'argent, dont un extracteur fonctionnait sur un plan incliné comportant 700 m. de câble. L'extraction se prêtait bien à l'emploi d'un wagonnet à moteur électrique en ce que, en aucun point, la rampe n'était assez raide pour ne pas pouvoir être aisément franchie. De l'ouverture du puits une voie ferrée de 730 m. environ conduisait au lieu de traitement du minerai. Le puits d'extraction était parfaitement sec sur toute sa longueur ; mais sa section était si étroite et si basse sur la majeure partie de son parcours, qu'il était formellement défendu aux ouvriers de monter sur les wagonnets, ce qui, par le fait, eût été presque impossible.

Ces conditions se rencontrant souvent, l'auteur a pensé rendre service en donnant dans *The Electrical World* la solution du problème de la substitution de la traction électrique à la traction funiculaire applicable dans ce cas particulier.

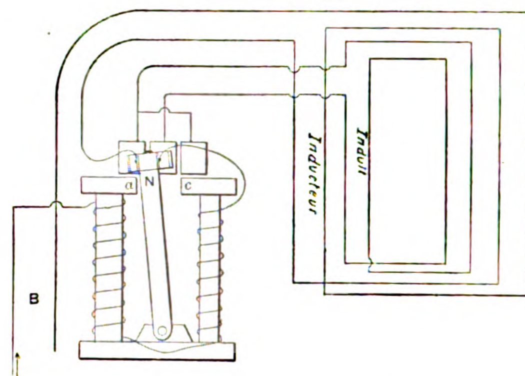


Fig. 1. — Inverseur de pôles de wagonnet.

Les wagonnets doivent, tant dans la traversée du puits que dans celle conduisant aux concasseurs, franchir seuls la distance entière et rester constamment sous le contrôle de réglage de l'ingénieur qui se tient à l'orifice du puits pour les faire avancer ou reculer à son gré sur une section quelconque de la voie totale.

Voici comment on y est arrivé : Sur le châssis d'un wagonnet moteur ordinaire est monté un inverseur automatique de pôles relié en série avec la source d'alimentation, comme dans la figure 1. Cette partie du mécanisme fonctionne de telle sorte que, quand le courant circule dans les conducteurs B (qui, dans le cas actuel, peuvent être les deux rails de la voie, grâce à la condition d'extrême sécheresse ci-dessus mentionnée) dans le sens indi-

qué par la flèche, la pièce polaire *a* de l'électro-aimant de l'inverseur de pôles devient un pôle sud et attire le pôle nord de l'aimant permanent N, à l'extrémité supérieure duquel est fixé un bloc de matière isolante qui porte deux pièces de contact en laiton. Ces pièces étant reliées aux bornes de l'induit, le circuit se trouve complété à travers le moteur et le sens de rotation de son induit est tel que le wagonnet avance, par exemple. Le renversement de sens dans les conducteurs B fait passer la pièce polaire *a* de l'électro-aimant à la polarité nord, tandis que *c* devient un pôle sud. En conséquence la lame vibrante ou l'aimant permanent N cède à ce nouvel état de choses et se meut jusqu'à ce que son pôle N vienne au contact de *c* qui est de polarité sud. Les bornes de l'induit se trouvent ainsi inversées, et, nécessairement, comme le courant dans les conducteurs a changé de sens, le sens du courant dans l'induit reste le même que précédemment. Le courant ayant changé de sens dans les inducteurs et étant resté le même dans l'induit, le sens de rotation de ce dernier est inversé et le wagonnet recule. Cette action pouvant être réalisée à un instant quelconque et en quelque point de la ligne que se trouve le wagonnet, le problème est ainsi résolu.

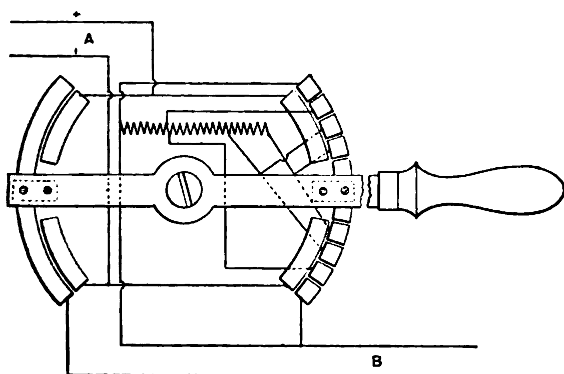
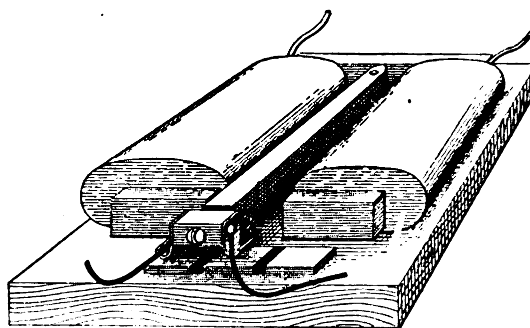


Fig. 2. — Inverseur de pôles de station.

La figure 2 représente une forme commode d'inverseur de pôles destiné au renversement des courants, de la station, dans les conducteurs B qui sont ici les rails, A étant le circuit principal d'alimentation. Plus on écarte du milieu la manette du commutateur, plus la vitesse du wagonnet augmente. Si on la porte vers la gauche, il avance plus vite, d'après ce qui a été dit plus haut, suivant le plot avec lequel elle est mise en contact. Il en est de même inversement si on la porte à droite, puisqu'on intercale, comme on voit, la même résistance; mais le sens de rotation est inversé.

Pour éviter des courts-circuits, on maintient entre les blocs de contact de l'inverseur de pôles un certain écartement rempli de matière isolante, comme l'indique la figure 3.

Il est à peine besoin de dire qu'on peut employer pour l'un des conducteurs un fil aérien avec trolet, dont le coût de premier établissement est inférieur à celui du câble et qui ne s'use pas comme lui.


Fig. 3. — Contacts de l'inverseur de pôles.

Ce système présente de nombreux avantages à divers points de vue. Il a une grande souplesse et une flexibilité qui permet de l'adapter facilement à des conditions très variables, tant pour moteurs fixes que pour moteurs de wagonnets. Il est économique en ce qu'il n'exige pas de conducteur spécial à chaque moteur, et que le chef de station peut diriger et régler autant de moteurs qu'il est nécessaire sur un grand nombre de lignes différentes. On économise en même temps la traction du conducteur de chaque wagonnet, et, quand ceux-ci sont de petites dimensions, cette réduction n'est pas sans importance.

Il s'applique aussi bien aux machines en série et en dérivation et n'a présenté jusqu'ici aucun point faible dans les essais auxquels il a été soumis.

E. B.

REVUE DES SOCIÉTÉS SAVANTES

ET DES

PUBLICATIONS SCIENTIFIQUES

Société française de physique.

5 juillet 1895.

M. Pierre Weiss expose des recherches sur l'aimantation non isotrope de la magnétite cristallisée.

La courbe d'aimantation de la magnétite, cristallisée dans le système cubique, présente les mêmes caractères généraux que celles du fer, du nickel et du cobalt, mais la grandeur de cette aimantation varie avec son orientation par rapport aux axes cristallographiques. Elle a été mesurée par la méthode du galvanomètre balistique modifiée de façon à l'adapter à la petitesse des corps en expérience. L'aimantation et le champ magnétisant sont déterminés tous deux par des impulsions du galvanomètre. Les mesures ont porté sur des prismes taillés parallèlement aux axes du système cubique. L'aimantation est maxima suivant l'axe ternaire un peu moindre pour l'axe binaire et minima pour l'axe quaternaire.

Ces expériences ont été confirmées par d'autres plus directes. On fait tourner un disque de magnétite d'angles connus dans un champ puissant. Une petite bobine entourant le disque et reliée au galvanomètre mesure les variations que subit l'aimantation quand l'orientation du disque change. On a opéré sur des disques parallèles à la face du cube, de l'octaèdre et du dodécaèdre rhomboïdal. Si l'on résume les résultats expérimentaux en portant sur tous les rayons vecteurs issus d'un point une longueur égale à l'aimantation à saturation dans la direction du rayon considéré, la surface ainsi obtenue est un cube à arêtes fortement arrondies et à faces légèrement creuses. L'aimantation est la même dans toutes les directions contenues dans la face de l'octaèdre. La surface magnétique a donc des sections circulaires par les plans de ces faces.

Quand on place un disque de magnétite sur un plan de verre entre les pôles d'un aimant, l'un des axes d'aimantation maxima de son plan s'oriente spontanément dans la direction du champ. L'expérience est montrée par projection à la Société.

Quand la direction du champ ne coïncide pas avec celle d'un des axes maxima ou minima l'aimantation est oblique par rapport au champ. L'appareil déjà employé permet de mesurer la composante de l'aimantation perpendiculaire au champ.

Cette obliquité est visible dans la reproduction photographique d'un spectre magnétique obtenu avec de la limaille de fer qui représente la déformation des lignes de force par un disque de magnétite placé dans une position dissymétrique.

Indépendamment de la différence que ces expériences accusent entre les corps cubiques et les corps isotropes elles montrent que les théories qui admettent que l'aimantation résulte de l'orientation d'éléments de moment magnétique fixe sont insuffisantes pour représenter l'aimantation des corps cristallins.

Sur les attractions et répulsions apparentes des conducteurs électrisés dans un diélectrique fluide, par Gouy (1).

« 1. Dans la théorie classique de l'électricité, la force électrostatique f qui s'exerce entre deux particules électriques données ne dépend absolument que de leur distance. D'autre part, l'expérience et de simples considérations d'énergie montrent que les forces apparentes qui s'exercent entre des conducteurs de charges données sont en raison inverse du pouvoir inducteur K du diélectrique liquide ou gazeux qui remplit le champ. Si, pour expliquer ce fait (2), on admet que f, dans

(1) *Comptes Rendus*, t. CXXI, p. 53, séance du 1er juillet.

(2) Ce fait ne s'explique nullement, comme on le dit quelquefois, par la considération de la *couche fictive* dite *équivalente* à la polarisation du diélectrique, car sur chaque conducteur, la densité *apparente*, résultant

un pareil milieu, est en raison inverse de K, on rencontre d'insurmontables difficultés quand on envisage d'autres expériences, en sorte que la théorie présente une lacune sur ce point fondamental.

« Remarquons d'abord qu'il n'est pas évident que les forces apparentes dont il s'agit résultent uniquement des forces électrostatiques émanées des divers points du système, et appliquées à la charge du conducteur considéré. On peut, en effet, concevoir que des forces du même genre attirent chaque élément du diélectrique, et, en raison de sa fluidité, se transmettent au conducteur par pression hydrostatique. C'est ce qui a lieu, du reste, pour l'attraction newtonienne de deux solides placés dans un milieu liquide; si, connaissant l'attraction apparente, on voulait en rendre compte en oubliant cette pression hydrostatique, on serait obligé de conclure que la force newtonienne élémentaire dépend du milieu ambiant.

« Je pense que telle est, en effet, la solution de la difficulté, car l'expérience et la théorie de la polarisation diélectrique montrent que de pareilles forces agissent en réalité sur les diélectriques.

« 2. Considérons des conducteurs électrisés A,B,C,..., placés dans le vide. Le conducteur A peut être regardé comme soumis à des forces appliquées à chaque élément *ds* de sa surface, dirigées suivant la normale extérieure, et égales à $2\pi\sigma^2\, ds$, en appelant σ la densité électrique.

« Supposons maintenant que le champ soit rempli d'un diélectrique liquide, de pouvoir inducteur K. Les charges des conducteurs sont supposées les mêmes que précédemment, et la distribution électrique reste la même. Une particule électrique quelconque du conducteur A est sollicitée par des forces électrostatiques qui émanent ; 1° des autres particules électriques existant sur les conducteurs; 2° des éléments du diélectrique polarisé.

« Les premières forces sont les mêmes que précédemment; les secondes ont une résultante nulle. En effet, le diélectrique entier peut être décomposé en couches comprises entre des surfaces équipotentielles infiniment voisines, et chacune de ces couches forme un feuillet diélectrique fermé, qui ne produit de force électrique que dans son épaisseur.

« Ainsi les forces électrostatiques agissant sur la charge du conducteur A sont les mêmes que tout à l'heure, dans le vide. Cependant, la force apparente qui sollicite ce conducteur est K fois plus petite; il faut donc qu'il y ait encore d'autres forces mises en jeu par le champ électrique.

« 3. On sait que, dans l'air ou dans le vide, un petit corps diélectrique est attiré vers les régions où l'intensité du champ est la plus grande. Cette attraction, due aux forces électrostatiques agissant sur chaque élément du diélectrique polarisé, existe de même pour le diélectrique qui remplit tout le champ, tel que nous l'envisageons. Le calcul montre qu'en appelant F, en chaque point, la force électrique qui existait dans la première expérience (vide), chaque élément *dv* du diélectrique liquide est maintenant soumis à une force attractive orientée suivant la direction où F^2 augmente le plus vite, et égale à

$$\frac{1}{8\pi}\frac{K-1}{K}\frac{dF^2}{dl}dv,$$

en désignant par *dl* un élément de longueur pris sur cette direction [1]. Cette force attractive agissant sur chaque élément du diélectrique, la pression hydrostatique sera en chaque point

$$\frac{1}{8\pi}\frac{K-1}{K}F^2 + p_0.$$

en désignant par p_0 une constante qui est la

de la couche fictive, serait $\frac{\sigma}{K}$, et, par suite, l'action mutuelle des conducteurs serait en raison inverse de K^2. La distribution fictive n'est équivalente à la polarisation du diélectrique que pour le calcul du potentiel, et non aux autres points de vue.

[1] Je n'écris pas ici un autre terme, qui disparait dans le calcul de la pression exercée sur un conducteur.

pression aux points où le champ est insensible (abstraction faite de la pesanteur).

« Revenons maintenant au conducteur A; l'élément *ds* subira, du fait de cette pression hydrostatique, une force dirigée suivant la normale intérieure et égale à

$$\left(\frac{1}{8\pi}\frac{K-1}{K}F^2 + p_0\right) ds;$$

d'autre part, les forces électrostatiques directes produisent sur *ds* une force opposée à la précédente et égale à $2\pi\sigma^2 ds$; la force apparente sera donc

$$\left(2\pi\sigma^2 - \frac{1}{8\pi}\frac{K-1}{K}F^2 - p_0\right) ds.$$

Comme on a, près du conducteur, $F = 4\pi\sigma$, l'expression précédente s'écrit

$$\left(\frac{2\pi\sigma^2}{K} - p_0\right) ds,$$

ce qui est bien le résultat exact ([1]).

« Ainsi les forces apparentes qui s'exercent entre des conducteurs de charges données, dans un diélectrique liquide, résultent : 1° de leurs attractions et répulsions mutuelles, qui sont les mêmes que dans le vide; 2° de la pression hydrostatique, produite par la force qui attire le diélectrique dans le sens où l'intensité du champ s'accroît le plus vite.

« 4. J'ai employé le langage de la théorie des forces à distance, mais ces résultats paraissent devoir subsister dans toute autre théorie où l'on regarderait les diélectriques pondérables comme formés de molécules placées dans le vide, ce dernier milieu produisant, par un mécanisme quelconque, les effets que nous attribuons aux forces à distance.

« La pression hydrostatique que nous venons de considérer paraît jouer un rôle essentiel dans certains phénomènes, tels que la contraction électrique des gaz, ou la tension maxima des vapeurs dans le champ électrique, comme j'espère le montrer bientôt. »

([1]) On voit que nous rendons compte, non seulement de l'action mutuelle des conducteurs, mais encore des forces dues à leur électrisation et tendant à faire varier leur forme ou leur volume, forces qui, à charges données, sont aussi en raison inverse de K. Dans le raisonnement qui précède, les conducteurs sont supposés parfaitement rigides.

Nouvelle méthode de mesure des capacités électriques basée sur la sensibilité de la peau, par H. Bordier ([1]).

« Le principe de la méthode que je vais indiquer repose sur une expérience de M. le professeur d'Arsonval ([2]).

« Si l'on place successivement, en dérivation sur une même bobine induite des condensateurs de capacités croissantes et que l'on cherche, soit à l'aide d'un rhéostat, soit en déplaçant la bobine devant une règle divisée, le moment où l'on perçoit la *sensation minima* produite par le courant sur la peau, on constate que ce moment varie pour chaque capacité ajoutée.

« Si l'on a, par exemple, un microfarad divisé en dixièmes, il est facile de trouver les positions, ou du rhéostat, ou de la bobine, qui correspondent aux sensations initiales produites par chaque dixième de microfarad ajouté. En prenant comme abscisse les capacités et comme ordonnées les différentes positions du rhéostat ou de la bobine, on obtient une courbe qui représente la variation de la sensibilité cutanée avec les différentes capacités ajoutées. Cette courbe étant établie, il suffit de chercher le moment d'apparition de la sensation produite par le courant faradique, la bobine étant munie du condensateur dont on veut connaître la capacité. En se reportant à la courbe, on lit immédiatement la valeur de la capacité cherchée.

« Comme on le voit, cette méthode utilise l'effet sensitif minimum produit sur les terminaisons nerveuses de la peau. S'il est très difficile d'affirmer l'égalité de deux sensations successivement perçues, il est, au contraire, très facile de reconnaître l'instant précis où une sensation commence.

« Pour que la surface impressionnée et que

([1]) *Comptes rendus*, t. CXXI, p. 56.
([2]) *Archives de physiologie*, p. 585; 1891.

les conditions d'imbibition de l'épiderme restent les mêmes pendant une expérience, il est utile de plonger les doigts dans deux vases contenant de l'eau et reliés aux deux bornes de la bobine induite.

« Voici un exemple des résultats obtenus par cette méthode :

« La bobine employée avait une résistance de 668 ohms ; le diamètre du fil était de $\frac{2}{10}$ de millimètre et sa longueur de 1 300 m.

« L'appareil inducteur doit être muni du condensateur de Fizeau, de manière à effectuer des interruptions bien régulières. Des deux bornes de la bobine induite partent deux fils qui vont à deux petits cristallisoirs pleins d'eau et dont le fond est garni d'une plaque métallique. L'index et le médius plongent chacun dans un vase.

« On cherche d'abord la position que doit occuper la bobine pour que la sensation minima apparaisse : on trouve 19,25. On met alors en dérivation un microfarad divisé en dixièmes et l'on éprouve la sensation minima pour les positions suivantes de la bobine :

Capacités ajoutées. microfarad	Positions de la bobine. cm
0	19,25
0,1	16,75
0,2	15,5
0,3	14,5
0,4	13,75
0,5	13
0,6	12,5
0,7	12
0,8	11,6
0,9	11,25
1	11

« On peut remarquer que, à mesure que la capacité de la bobine augmente, il faut la rapprocher de plus en plus. Si l'on construit la courbe dont j'ai parlé plus haut, on constate que tous les points déterminés expérimentalement se trouvent placés sur la même ligne bien régulièrement; ce résultat prouve déjà que cette méthode est susceptible de fournir une assez grande approximation.

« Voici, en effet, les capacités trouvées pour deux condensateurs : condensateur *a* 0,915 microfarad; condensateur *b* 0,91 microfarad. La méthode du galvanomètre balistique a fourni les nombres suivants : condensateur *a* 0,912 microfarad; condensateur *b* 0,915 microfarad.

« Les effets sensitifs ne sont pas toujours diminués lorsqu'on augmente la capacité d'une bobine ; si celle-ci est à gros fil, peu résistant, on trouve que la sensation devient de plus en plus forte à mesure que les capacités ajoutées vont en croissant (ce qui n'avait pas encore été signalé). Avec une bobine de 0,72 ohm de résistance, le fil ayant une longueur de 60 m. et un diamètre de $\frac{13}{10}$ de millimètre, j'ai trouvé les nombres suivants :

Capacités ajoutées. microfarad	Positions de la bobine. cm
0,0	9,5
0,1	10
0,2	10,4
0,3	10,8
0,4	11,25
0,5	11,7
0,6	12
0,7	12,5
0,8	12,9
0,9	13,4
1	13,8

« On voit qu'ici il a fallu *éloigner* la bobine, au lieu de la rapprocher, comme dans le cas précédent, à mesure que la capacité augmentait. Quoi qu'il en soit, la méthode de mesure des capacités reste applicable dans tous les cas.

« Il est une capacité bien intéressante à connaître et sur laquelle on n'a pas de données bien précises : je veux parler de la capacité du corps de l'homme. La méthode que je viens d'indiquer permet d'obtenir une mesure très approximative de cette capacité. Le sujet isolé est placé en tension sur l'un des fils qui réunissent la bobine au condensateur étalonné; ude clef permet de supprimer le corps du circuit ou de l'y remettre.

Résultats :

Capacités ajoutées à la bobine	Variations de la bobine.	
	1re expérience.	2e expérience.
microfarad	cm	cm
0,0	20,00	19,25
0,1	17,75	16,75
0,1 + le corps	17,7	16,7
0,02	16,75	15,5

« En établissant chaque courbe sur du papier quadrillé de grandes dimensions, on trouve pour la valeur de la capacité du corps : première expérience 0,002 microfarad ; deuxième expérience 0,003 microfarad. Valeur moyenne 0,0025 microfarad.

« Cette capacité est environ cinquante-huit fois plus grande que celle d'un conducteur homogène dont la surface serait égale à celle du corps humain. Il est peut-être permis de penser que cette capacité, relativement grande, du corps de l'homme est due à des phénomènes de condensation qui se passent au sein de l'organisme. »

Sur un électromètre apériodique, par W. Hallwachs (¹).

L'auteur a cherché à construire un électromètre à quadrants, de sensibilité constante, revenant bien au zéro, et présentant un amortissement convenable. Les amortisseurs magnétiques ont été laissés de côté pour ne pas introduire des causes possibles de perturbation. L'amortissement utilisant la résistance de l'air est préférable, et l'auteur a réussi à établir un dispositif n'affectant aucunement la grandeur des déviations, ailette et vase amortisseurs étant en relation électrique permanente avec l'aiguille de l'instrument.

L'amortissement dans cet instrument est réglable, et on peut s'approcher autant qu'il est nécessaire de l'apériodicité.

Cet instrument permet de mesurer des différences de potentiel au dix-millième. Il est très commode à manipuler et les mouvements pendulaires que les vibrations du sol peuvent imprimer à l'aiguille sont également amortis.

Le couple de torsion est fourni par un fil de platine de 1/40 mm. de diamètre. Les extrémités de ce fil sont engagées dans de petites pinces à ressort. La pince supérieure est fixée à la tige de suspension *a* (fig. 1) ; la pince inférieure porte un petit fer à cheval *b* pour la fixation de la suspension de l'aiguille *c*.

La tige *a* peut tourner sur son axe et se déplacer verticalement ; elle est d'une longueur suffisante pour permettre l'emploi de

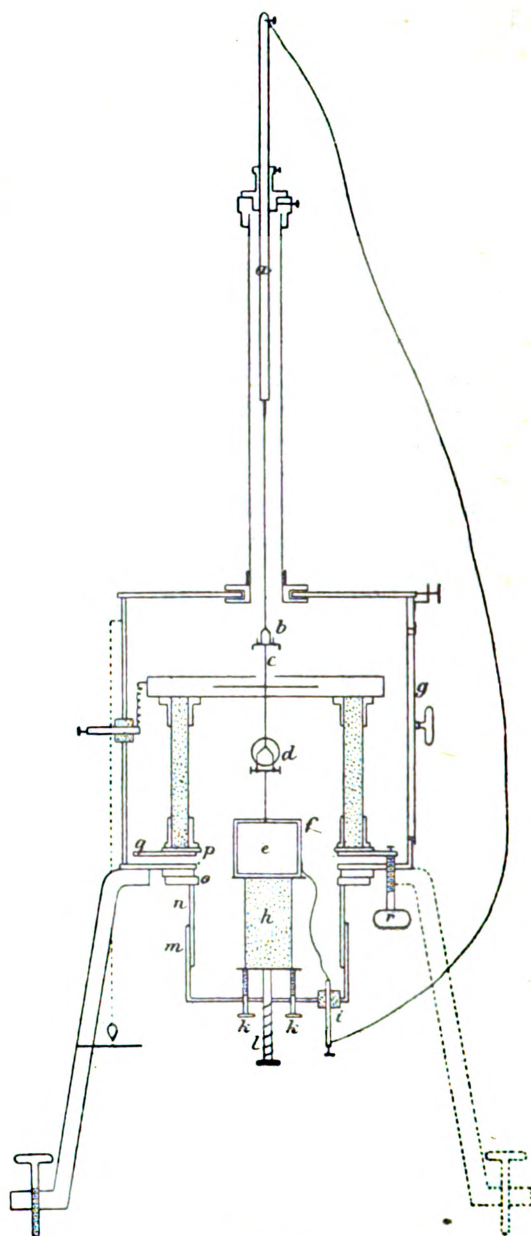


Fig. 1.

fils de suspension de 10 à 30 cm., selon la sensibilité désirée. L'aiguille, en feuille d'aluminium du 0,06 à 0,08 mm. d'épaisseur est fixée de telle façon qu'elle puisse être facilement enlevée et remplacée par une autre, plus

(¹) *Windemann's Annalen*, t. LV, p. 170, 1895.

grande ou plus petite, selon qu'on veut augmenter ou diminuer la sensibilité.

A la tige de l'aiguille est fixée, par l'intermédiaire du fer à cheval *d*, l'ailette en aluminium *e* du système amortisseur. Celle-ci oscille à l'intérieur d'un parallélipipède *f* à parois amovibles, que l'on déplace en manœuvrant des vis accessibles après l'ouverture de la porte *g*. Pour éviter que le système amortisseur introduise un couple de torsion, l'ailette et la boîte sont portées au même potentiel, celui de l'aiguille. La boîte de l'amortisseur repose sur un cylindre en ébonite *h* que portent deux vis de calage *kk*. Un ressort *l* tend à appuyer la base du cylindre sur ces vis. La douille *m* dans laquelle tout ce système est fixé peut elle-même être déplacée verticalement ou subir une rotation. Le tube *n* est fixé à un système de deux anneaux plats *o* qu'on peut faire glisser dans le plan horizontal dans deux directions perpendiculaires;

Un trépied muni de vis de calage porte tout l'instrument.

Afin de permettre l'inclinaison des quadrants par rapport à l'aiguille après réglage du système amortisseur, il faut pouvoir déplacer les quadrants dans tous les sens. A cet effet, les colonnettes qui les supportent reposent sur un anneau plat *p*, mobile sur un second anneau *q*. Ce dernier repose sur trois vis de calage *r*, qui peuvent aussi servir à caler l'aiguille quand l'instrument doit être transporté d'un endroit en un autre.

Dans les expériences dont l'auteur donne les résultats, le rapport d'amortissement étant de 300 à 500 pour une série et de 24 à 33 pour une autre; à ces amortissements correspondent des périodes d'oscillation de 15 secondes et de 11 secondes.

L'aiguille étant chargée au potentiel de 140 volts, la mesure par la méthode hétérostatique donne pour 1 volt une déviation de 140 divisions d'une échelle placée à une distance de 2 000 divisions. Avec un fil plus long et une plus grande aiguille on peut quadrupler cette sensibilité.

Les expériences ont été faites avec une série de potentiels graduellement croissants, et ensuite avec ces mêmes potentiels en série décroissante.

L'identité des déviations à potentiel égal dans les deux séries (à 1 ou 2 dix-millièmes près) est une preuve suffisante de l'absence de toute déformation résiduelle du fil de torsion.

A. H.

VARIÉTÉ

LE LABORATOIRE D'ÉTALONNAGE ÉLECTRIQUE DU BOARD OF TRADE [1]

Le Board of Trade avait nommé déjà en 1889 une commission composée des électriciens les plus connus de la Société Royale à l'effet d'examiner la question de la création d'un laboratoire pour la construction et la mesure des étalons électriques. Comme résultat des délibérations nous voyons aujourd'hui le Bureau d'étalonnement établi à Whitehall, et comme la fixation des unités électriques est due à l'initiative prise dès 1861 par lord Kelvin, c'est à ce savant éminent qu'a été confiée la construction des instruments les plus délicats du nouveau laboratoire.

Six pièces abritent les machines et appareils du Bureau ; deux de ces pièces, séparées du bâtiment principal, contiennent un moteur à gaz Otto de 6 chevaux, actionnant par courroies deux machines Kapp pour la charge des accumulateurs, placés dans ces locaux et fournissant le courant pour les mesures. Ces accumulateurs sont divisés en deux batteries ; l'une est formée de quatre grands éléments Crompton-Howell, de 61 plaques chacun. Ces éléments sont habituellement groupés par deux en parallèle pour atteindre des intensités de courant jusqu'à 2 500 ampères. L'autre batterie se compose de 108 éléments E. P. S. et sert

[1] D'après *The Electrician*.

à actionner un moteur, et à fournir une tension constante de 200 volts. Les dynamos de charge munies de lourds volants, fournissent l'une 38 ampères et 138 volts à 1 100 tours, l'autre 200 ampères et 12,5 volts à 950 tours.

Dans le bâtiment principal, la première

Fig. 1. — Balance électrique du laboratoire du Board of Trade.

salle contient les instruments-étalons pour la mesure de l'intensité de courant et de la tension. On y trouve une balance électrique sensible permettant des mesures précises avec des poids allant jusqu'à 5 kg. et dont le fléau a 40 cm. de longueur. Cette balance est représentée en perspective par la figure 1 et les et les figures 2 et 3 en donnent les détails et la disposition des circuits.

L'instrument repose sur une plaque de marbre horizontale portée par quatre colonnes de marbre de 0,7 m. de hauteur. Ces colonnes enfin, reposent sur un bas de marbre à la partie supérieure d'un massif en pierre complètement isolé du parquet.

La plaque supérieure porte sur trois cales un cylindre en marbre imprégné de paraffine, et muni latéralement d'un bloc d'ébonite *e* (fig. 2) pour la fixation des bornes *tt*. Deux rainures circulaires de ce cylindre reçoivent des bobines formées de fil de cuivre de 12 mm. de diamètre couvert d'un double guipage de

Fig. 2. — Détails des bobines de la balance.

soie. Pendant l'enroulement de ces bobines le fil passait dans une solution alcoolique de gomme laque, et chaque couche de fil a été enduite de ce liquide. Chaque bobine comporte 16 couches de fil à 16 spires par couche. L'enroulement est pour les deux bobines du même sens ; leurs extrémités extérieures sont fixées aux bornes *tt*, tandis que les extrémités intérieures traversent le marbre pour aboutir aux bornes *ii*. Le cylindre est en outre percé entre les deux rainures de trois regards, dont l'un est visible en *h*. Ces ouvertures sont obturées à l'intérieur par des plaques de verre, dont le centre exact est indiqué par l'intersection de deux droites tracées sur le verre et par le sommet d'un quadrant en feuille d'étain collée sur la plaque.

La bobine mobile C est suspendue à une

extrémité du fléau par trois fils de bronze phosphoreux doré w, w, w de 0,086 mm. de diamètre. Le fil constituant la bobine est de même diamètre que celui des bobines fixes et a été l'objet des mêmes soins pendant l'enroulement. L'enroulement se compose de 18 couches à 18 spires. Les extrémités de la bobine sortent l'une à côté de l'autre en l à la surface supérieure. Ces extrémités roulées en spirales communiquent par des conducteurs flexibles en fil d'argent couvert de soie avec les tiges p et par leur intermédiaire avec les bornes nn. De plus trois pièces d'ébonite b fixées à la circonférence de la bobine reçoivent dans des œillets en laiton les trois fils de suspension, En ddd on voit des dispositifs en ivoire permettant de régler la position du plan de la bobine.

La fixation des fils de suspension à la balance est effectuée par l'intermédiaire d'anneaux en ivoire, accrochés à un trépied suspendu lui-même par un crochet au cavalier oscillant sur le couteau (fig. 1). Le plateau de la balance est suspendu d'une manière analogue. Enfin, à la partie supérieure de chaque pièce d'ébonite b, en face de chaque regard h, est un miroir m dont le centre est déterminé par l'intersection de deux droites et par le sommet d'un quadrant en feuille d'étain.

Le réglage exact de la position de la bobine mobile est indiqué par la coïncidence des centres des miroirs avec ceux des ouvertures h, quand l'observateur ne voit pas d'image réfléchie. Le réglage des bobines fixes s'effectue à l'aide des cales en ardoise kkk (fig. 2), présentant des saillies à leurs bases inférieures et supérieures. La saillie supérieure est excentrique et pénètre dans une cavité au fond du cylindre de marbre; la saillie inférieure est concentrique, et joue dans une rainure radiale de la plaque de marbre.

Le poids en platine iridié que l'on voit en figure 1 peut être placé dans la balance et enlevé à l'aide d'un système de leviers manœuvré de l'extérieur; ce poids est de 33,55 grammes.

Le cylindre de marbre est entouré de 3 plaques de verre glissant dans des rainures de la base et touchant les colonnes de marbre revêtues de drap. Ces verres sont parallèles aux trois viseurs. Enfin, le tout est enfermé dans une armoire vitrée mettant l'instrument à l'abri de la poussière et des courants d'air.

Un commutateur Z (fig. 3) permet de renverser le sens du courant dans les bobines fixes. A cause des oscillations très lentes de cette balance, on ajoute à l'instrument une balance auxiliaire qui se trouve en équilibre lorsque le courant traversant ses bobines a une intensité de 1 ampère, et dont on se sert pour déterminer le poids qu'il faut placer dans le plateau de la balance-étalon pour amener

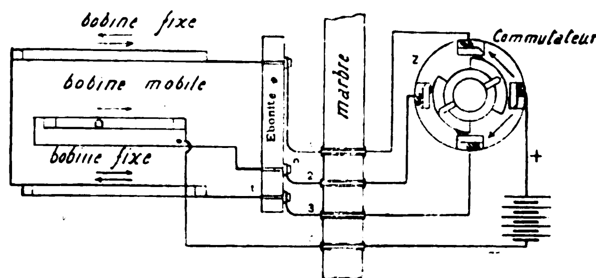


Fig. 3.

l'équilibre. On évite ainsi de longs tâtonnements.

Dans le même local se trouve l'instrument normal pour la mesure de la tension électrique. C'est un appareil électrostatique multicellulaire construit pour 100 volts (fig. 4 et 5). 10 ailettes métalliques d'une forme analogue à l'aiguille des électromètres Thomson sont fixées parallèlement entre eux à un axe passant par leurs centres de gravité respectifs. La distance entre deux aiguilles consécutives est de 9 mm. Ce même axe porte dans un cadre en aluminium un miroir concave de 19 mm. de diamètre et d'environ 60 mm. de distance focale.

Ce dispositif est suspendu à l'aide d'un fil en platine iridié de 0,05 mm. de diamètre et 18 cm. de longueur au centre d'un disque de laiton, dont la circonférence dentée engrène avec une vis tangente permettant de faire tourner le plan du miroir. Le déplacement

vertical de l'équipage mobile s'obtient en agissant sur les vis de calage d'une plaque portant le disque dont il vient d'être question.

Les aiguilles oscillent à l'intérieur de deux jeux de 11 quadrants en laiton poli fixés à des supports verticaux. Les deux jeux de quadrants sont réunis entre eux métalliquement, mais sont isolés du corps de l'instrument. Pour l'amortissement l'extrémité de l'axe porte un disque métallique mince disposé horizontalement dans un bain de pétrole.

L'équipage mobile et les quadrants sont entourés d'une boîte métallique munie sur sa face antérieure d'une fenêtre en verre, et à sa partie supérieure d'une ouverture pour l'introduction d'une clef servant à faire tourner la vis tangente. Les bornes sont fixées sur un bloc en ébonite; l'une d'elles communique avec la boîte métallique, l'autre est complètement isolée. Une languette métallique reliée aux quadrants peut être mise en communication à volonté avec l'une ou l'autre borne.

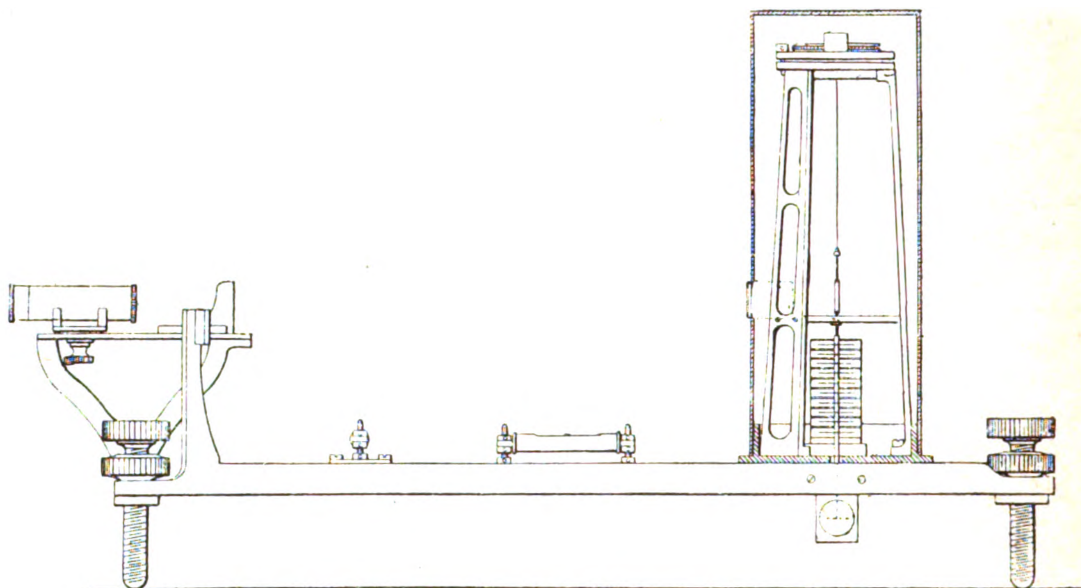


Fig. 5. — Voltmètre multicellulaire du laboratoire du Boad of Trade. Vue de côté.

Cette disposition qui forme la partie électrique de l'instrument est placée près du sommet d'un bâti métallique en forme de secteur reposant par trois vis sur une plaque de marbre à la partie supérieure d'un massif en ciment. Le bâti est muni de deux niveaux perpendiculaires l'un à l'autre et porte au milieu de la partie courbe du secteur un oculaire au foyer duquel est tendu verticalement un fil de cuivre de 0,06 mm. de diamètre. A chaque extrémité de l'arc se trouvent sur des supports de petits disques en laiton, dont la face polie, marquée d'un trait vertical, est tournée vers le miroir de l'instrument. Le trait de repère se trouvant à la gauche de l'observateur indique le zéro, et celui de droite la déviation pour 100 volts, quand chacun de ces repères coïncide dans le champ de la lunette avec le réticule.

Des dispositions spéciales permettent de faire varier la tension de manière continue entre 98 et 102 volts. Le voltmètre-étalon et l'instrument à comparer sont simultanément soumis à cette tension que l'on règle exactement à 100 volts.

A côté des instruments décrits ci-dessus se trouve encore une grande balance pouvant mesurer jusqu'à 10000 ampères et dont la construction a été surveillée par lord Kelvin. C'est près de cet instrument qu'aboutit le circuit principal de la grande batterie d'accumu-

lateurs; les conducteurs sont constitués par des bandes plates de cuivre très rapprochées les unes des autres afin d'éviter toute perturbation magnétique. Le rhéostat de réglage est formé en grande partie de crayons de charbon, dont l'emploi est indiqué d'abord à cause des grandes intensités à manier, mais aussi parce que la résistance du charbon diminue avec l'échauffement et tend à compenser l'augmentation due à la polarisation dans les éléments et à l'échauffement des conducteurs de cuivre.

Un câble concentrique (du même type que les câbles principaux de Deptford) longe deux murs du local. Le conducteur extérieur est sectionné pour permettre d'intercaler des instruments. On a constitué ainsi un circuit sans induction.

Sur des consoles tout le long d'un des murs sont placées 5 balances-étalons ordinaires de lord Kelvin, mesurant respectivement de 1 — 5, de 5 — 30, de 30 — 120, de 100 — 600 et de 500 — 2 500 ampères. Les deux premières ont des fléaux en aluminium.

On voit encore dans cette pièce une balance watt-mètre, des voltmètres pour basses et pour hautes tensions, et un tableau de distribution pour le réglage des transformateurs. Deux voltmètres Cardew sont munis de résistances de réglage formées d'une douzaine d'autres instruments Cardew dépourvus seulement de leurs cadrans et dont l'emploi permet de mesurer des tensions jusqu'à 2 150 volts.

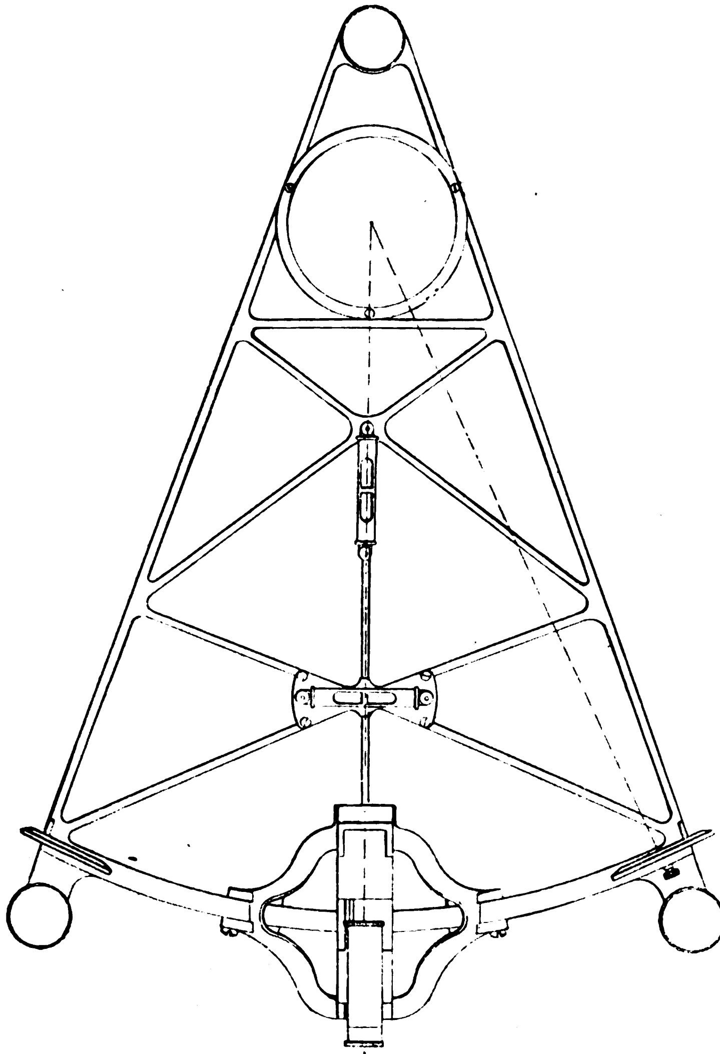


Fig. 4. — Voltmètre multicellulaire du laboratoire du Boad of Trade. Vue en plan.

Le travail principal effectué dans cette partie du laboratoire a été la comparaison des trois unités de l'intensité, de la tension et de la résistance. Un ampère, déterminé au voltamètre à argent, passait dans la balance-étalon, dans la balance auxiliaire et dans une résistance de 100 ohms, donnant par conséquent 100 volts à ses bornes. Cette différence de potentiel était mesurée au voltmètre-étalon. La résistance est en manganin et plonge dans un bain d'huile, refroidi par un courant d'eau, et qu'un moteur électrique maintient en circulation continue. Cette résistance de 100 ohms a été comparée avec l'ohm normal de l'Association britannique. Le volt a été déduit de la relation entre l'ampère et l'ohm. L'échelle du

voltmètre normal est assez longue pour permettre d'embrasser la tension de 69, 70 et 71 éléments Clark, dont la valeur a été ainsi déterminée.

Cette triple comparaison a occupé les physiciens du laboratoire pendant plusieurs mois. La balance-étalon est constamment traversée par un courant de 0,8 ampère destiné à la tenir chaude et sèche. La durée d'une oscillation complète du fléau de la balance est d'environ une demi-minute, d'où la nécessité de l'emploi d'une balance auxiliaire.

Parmi les instruments en préparation signalons un grand voltmètre Cardew de 3 m. de longueur, de forme horizontale, avec tube composé en fer et en laiton.

Dans un autre local est installé un moteur actionnant directement un alternateur Mordey, et par courroie une dynamo à courant continu à haute tension. Différents transformateurs permettent d'obtenir des courants jusqu'à 500 ampères et des tensions jusqu'à 10000 volts.

Une pièce spéciale contient les résistances-étalons et les éléments Clark. La température y est maintenue constamment à 16°. On y trouve encore un pont Carey-Foster et un galvanomètre à miroir de Thomson avec échelle transparente. MM. Kahle et Lindeck ont travaillé pendant plusieurs semaines à la comparaison des différents étalons de résistance avec ceux de l'Institut allemand, et M. Carhart a effectué les mêmes mesures comparatives pour les étalons des Etats-Unis.

Une dernière salle est affectée à l'essai des instruments industriels. Un four à gaz en poterie permet de soumettre ces appareils à des températures variables. Jusqu'à présent, des essais officiels n'ont pu être faits ; mais d'après une décision récente, le laboratoire pourra étalonner des appareils industriels. Toutefois, il n'est pas autorisé à effectuer d'autres travaux scientifiques ; et si, à cet égard, il n'est pas comparable à l'Institut physico-technique allemand, ni au Laboratoire central d'électricité de Paris, le Laboratoire du Board of Trade est d'autant plus indépendant qu'il est exempt de l'obligation de faire office d'arbitre dans des questions industrielles publiques.

A. H.

BIBLIOGRAPHIE

Les applications mécaniques de l'énergie électrique, par J. LAFFARGUE, ingénieur électricien, licencié ès sciences physiques, ancien directeur de l'usine municipale d'électricité des Halles centrales de la Ville de Paris, un vol. in-8, de la *Bibliothèque électrotechnique*, 1895. — Paris *J. Fritsch*, éditeur.

Les applications mécaniques de l'énergie électrique sont devenues de plus en plus nombreuses. Elles présentent une importance considérable et sont appelées à prendre un très grand développement.

Les transmissions dans les ateliers, les machines-outils, tours, perceuses, raboteuses, etc., les ascenseurs, les monte-charges, les ventilateurs, les treuils, grues et cabestans, les pompes, les ponts-roulants, les machines pour usages domestiques, telles que machines à coudre, à laver, à repasser, etc, forment autant d'applications auxquelles le moteur électrique se prête avec une facilité merveilleuse en raison de la simplicité de sa manœuvre, du peu de place qu'il occupe, de l'absence de dangers qu'il présente, et de la possibilité de brancher sur une même canalisation des moteurs de puissances très différentes. Ces applications, sans compter la plus importante de toutes, la traction, qui fera l'objet d'un volume spécial dans la Bibliothèque électrotechnique, prendront certainement, quand elles seront plus connues, un développement tel que les stations centrales d'électricité vendront certainement plus d'énergie électrique pour la mise en marche des moteurs que pour l'éclairage, bien que ç'ait été là leur destination première, et que l'éclairage ne sera plus, pour ainsi dire, qu'un sous-produit de ces stations. Nous n'en sommes pas encore là ! mais l'exemple de ce qui se passe à l'étranger, en Amérique notam-

ment, pour les ascenseurs électriques, prouve que ce rêve n'est pas une chimère.

On ne peut donc que se féliciter de l'apparition d'un ouvrage sur cette branche des applications électriques. Les journaux spéciaux sont remplis de documents à ce sujet; nos lecteurs ont été en particulier tenus au courant de tout ce qui s'est fait dans cet ordre d'idée; les articles remarquables de M. G. Richard forment une véritable encyclopédie qu'on consultera toujours avec intérêt et profit. Mais, jusqu'à présent aucun ouvrage ne leur avait été consacré. Comme le fait remarquer l'auteur, dans la préface de son ouvrage, c'est en grande partie à ce fait qu'on doit attribuer la lenteur avec laquelle se sont développées en France, ces applications industrielles. Espérons qu'il n'en sera plus de même, maintenant que la lacune est comblée.

Le livre de M. Laffargue est d'ailleurs très bien fait. Après avoir comparé, les divers agents de force motrice au point de vue de l'installation et de l'exploitation, l'auteur publie quelques données statistiques sur les applications déjà réalisées, puis il entre dans le cœur de son sujet par l'étude détaillée des moteurs électriques et de leur fonctionnement. Les moteurs à courants alternatifs simples ou polyphasés sont successivement étudiés au point de vue théorique et au point de vue pratique. Cette partie de l'ouvrage ne comprend pas moins de 130 pages; elle contient tout ce qu'il est utile de connaître avant d'aborder l'exposé des applications pratiques de ces moteurs, exposé qui forme la dernière partie de l'ouvrage.

Fidèle au plan qu'il s'était tracé, M. Laffargue s'est borné à étudier les applications susceptibles d'être utilisées sur les réseaux de distribution; les applications particulières, à l'art militaire, à la marine et même aux mines — bien qu'un certain nombre d'appareils décrits se rapportent à l'exploitation minière — sont négligées. Il aurait pu, sans trop augmenter le volume de son ouvrage en dire quelques mots.

Ce livre abonde en données pratiques, rendements, prix de revient de l'installation et de l'exploitation, etc. Il exercera certainement une influence salutaire sur les directeurs de stations centrales et sur leurs clients.

G. PELLISSIER.

CHRONIQUE

L'INDUSTRIE ÉLECTRIQUE EN FRANCE

Bordeaux. — Éclairage électrique du Jardin public.

Cet éclairage a été réalisé à l'aide de 48 lampes à arc du système de la Société alsacienne de Belfort, réparties en six groupes comportant chacun huit arcs en tension. Chaque groupe peut être éteint ou allumé indépendamment des autres. Chaque lampe est munie d'un dispositif spécial, grâce auquel les sept autres lampes du circuit restent allumées alors même que l'une des lampes est mise hors d'état de fonctionner. La répartition des lampes sur chaque circuit a été étudiée de telle sorte que deux des circuits puissent être éteints tout en conservant un bon éclairage général.

L'allumage et l'extinction de l'ensemble des 48 lampes peuvent être faits d'un seul coup par une simple manœuvre d'interrupteurs placés dans la station génératrice du courant. Cette station comprend une machine à vapeur mi-fixe avec chaudière de 50 chevaux, qui actionne deux dynamos de 250 volts et 60 ampères.

Le courant fourni par les dynamos est amené par des câbles à un tableau de distribution, qui supporte les appareils de mesure, ampèremètres et voltmètres. C'est sur ce tableau que les courants sont accouplés en tension, de façon à obtenir un voltage de 450 volts environ nécessaire au fonctionnement des circuits de 8 lampes.

Du tableau de distribution partent, sous terre, deux câbles principaux en cuivre de 50 mm. c. de section. Ces câbles, qui sont d'une construction spéciale à l'usine de Belfort, sont fortement isolés et recouverts d'une enveloppe de plomb, de plusieurs couches de jute goudronnée et de bandes de fer qui les protègent contre toute action chimique ou mécanique.

Entre ces câbles sont branchés les six circuits en fils de 6 mm. c. de section, d'une constitution identique. Ce sont ces câbles de 6 mm. c. qui

amènent le courant à l'intérieur des candélabres.

La station génératrice est installée dans l'ancienne laiterie du jardin, près de la porte David-Johnston. C'est le personnel de la Ville qui est chargé du service, sous la direction de M. Renous, ingénieur, directeur de la station des Chartrons, qui a conçu le projet, dans son ensemble, de concert avec M. Darriet, et qu'on doit féliciter pour le résultat obtenu.

L'installation a été dirigée par M. Lapostolet, ingénieur, représentant la Société alsacienne de Belfort, laquelle s'est rendue adjudicataire de ce travail et l'a livré avec ponctualité, devançant même de quelques jours la date qui lui était assignée.

Enfin, les candélabres ont été fournis par M. Charles Gautier. Les candélabres mesurent 4 m. 50 de hauteur à l'axe de la lumière. Ils sont en fonte de fer bronzée et cuivrée, aux armes de la Ville dans le socle. Ils sont très élégants.

Braisne (Aisne). — Éclairage. Cette petite ville, située à mi-distance entre Reims et Soissons, doit une bonne partie de sa prospérité à la petite rivière la Vesle, qui y actionne de nombreux moulins. Elle lui devra bientôt plus encore, car l'un de ces moulins vient d'être transformé par M. Waré, de Sedan, en station électrique pour l'éclairage public et particulier.

On pose en ce moment les fils du réseau aérien et les habitants attendent avec impatience le moment où ils n'auront plus rien à envier aux grandes cités, où ils pourront même en remontrer à la plupart des grandes villes du département, Laon, Soissons, etc.

La Chapelle-en-Vercors (Drôme). — Éclairage. Les travaux de réfection du canal de l'usine électrique des Grands-Goulets sont terminés et on compte que la nouvelle usine pourra fournir de l'énergie à plusieurs localités parmi lesquelles nous citerons La Chapelle, Saint-Martin, Les Grands-Goulets.

Nous constatons avec plaisir que la notion si logique au point de vue économique de l'alimentation de plusieurs localités par une station unique si aisée à réaliser par l'emploi de tensions un peu élevées, commence à gagner du terrain.

Dieppe. — Éclairage de la plage. L'installation sur la plage (nº 18, 1895) avance et à l'heure où ces lignes paraîtront l'inauguration aura probablement eu lieu.

Les poteaux, de 6 mètres de hauteur, sont posés; ils sont espacés de 80 mètres. Les lampes à arc seront d'au moins 10 ampères.

Saint-Étiennne. — Traction. M. Brunon a présenté à l'une des dernières séances du Conseil général un rapport sur l'opportunité de la demande de concession formulée par M. Laval pour l'établissement d'un tramway électrique allant de Saint-Galmier-Veauche à Saint-Galmier-Ville. La concession a été accordée.

Fécamp. — Gaz et électricité. M. Anquetil, au nom de la Commission des finances, a présenté au Conseil municipal le rapport suivant :

« Mme Legros, propriétaire de la station d'électricité de Fécamp, aux termes de l'article 6 de l'autorisation qui lui a été accordée de placer des fils au-dessus et au-dessous du sol de la petite voirie pour le transport de la lumière électrique, doit payer à la Ville une redevance annuelle de 1 000 francs.

« Mme veuve Legros, sous le prétexte que l'autorisation donnée a été contestée par la Compagnie du gaz, estime que le paiement de sa redevance doit être suspendu jusqu'après le règlement définitif du procès, ajoutant que la Ville ne peut loyalement tirer parti d'une autorisation dont la valeur est mise en doute.

« Accepter cette thèse serait reconnaître que si le Conseil d'État confirme l'arrêté du Conseil de Préfecture qui a donné gain de cause à la Compagnie du gaz, non seulement Mme Legros n'aurait rien à payer depuis ce jour jusqu'à l'arrêt de la Cour suprême, mais elle aurait droit encore au remboursement des sommes déjà versées.

« Or, Messieurs, l'occupation de la voirie par les fils électriques n'a rien que de légal en soi; le Conseil de préfecture n'a pas annulé l'arrêté du maire donnant l'autorisation, mais il a jugé que cette autorisation portait préjudice à la Compagnie du gaz, et c'est pourquoi il a prescrit une expertise à l'effet de déterminer : 1° le dommage causé au gaz jusqu'au jour du jugement, et 2° l'indemnité définitive au cas où Mme Legros continuerait son exploitation.

« L'arrêté conserve donc toute sa valeur légale jusqu'à ce qu'il soit révoqué par un acte de l'autorité municipale ou que le bénéficiaire y renonce de son propre gré.

« Comme on ne peut contester, d'autre part, le droit pour la Ville de percevoir une redevance

pour l'acceptation des dépendances de la voirie urbaine, il s'en suit que la demande de Mme Legros est irrecevable en droit et en fait.

« Nous vous proposons, en conséquence, de passer à l'ordre du jour ».

Les conclusions du rapport ont été approuvées.

Lyon. — *Éclairage électrique.* Voici exactement où en est la question de l'éclairage électrique dans la deuxième ville de France, suivant les *Annales politiques et littéraires.*

La Compagnie du gaz dont le privilège expire en 1903 — dans huit ans — a, pour la même durée le monopole de l'éclairage électrique. Elle sollicite actuellement le renouvellement de son privilège et, pour l'obtenir, elle offre à la ville de réduire, dès 1898, au prix de 12 centimes, l'hectowatt-heure qu'elle vend aujourd'hui 14 centimes. Or, pour juger de l'importance du sacrifice consenti par la Compagnie du gaz, il suffit de savoir que la Société du canal de Jonage offre, de son côté, de fournir le même hectowatt-heure au prix de 7 centimes pour la ville et 9 centimes pour les particuliers. Et nous avons quelque raison de croire que ce n'est pas le dernier mot de la Société des forces motrices, et qu'elle irait bien jusqu'à donner aux particuliers, comme à la Ville, l'hectowatt-heure à 7 centimes, c'est-à-dire juste la moitié du prix que fait payer aujourd'hui la Compagnie du gaz.

Il est vrai que la Compagnie du gaz veut bien, à partir de 1898, réduire de 2 centimes le prix de l'hectowatt-heure si, en échange, on lui accorde une prolongation de son privilège jusqu'au 31 décembre 1937; ce qui signifie simplement que la Compagnie serait résolue à ce dur sacrifice de perdre 2 pendant 5 ans pour gagner 5 pendant 35 ans!

Nous nous demandons en vérité quelle étrange idée se fait la Compagnie du gaz de l'état d'esprit du Conseil municipal de Lyon pour oser lui soumettre de pareilles propositions?

Comment! voilà une ville, la seconde de France qui, liée par un traité funeste, est aujourd'hui au dernier rang des principales villes de l'Europe et du monde au point de vue de son éclairage électrique. Dans sept ans, elle recouvre sa liberté; dans sept ans, grâce au canal de Jonage, sa situation devient privilégiée entre toutes, et c'est au Conseil élu de cette ville, qui n'a et ne peut avoir d'autre préoccupation que l'intérêt des citoyens qu'il représente, que l'on ose proposer de s'enchaîner à nouveau et de condamner, pendant 35 ans encore, disons même quarante-trois ans (de 1895 à 1938), la population de Lyon à payer 12 centimes cette lumière électrique que la Société des Forces motrices offre spontanément à 9 centimes et qu'elle donnera peut-être même à 7 centimes, si la liberté de l'éclairage électrique est proclamée!

C'est, croyons-nous, le cas de donner quelques chiffres intéressants et de nature à édifier tous ceux qui ne seraient pas encore très au courant de la question.

En même temps que la Compagnie du gaz demandait le renouvellement de son privilège, moyennant une réduction de 2 centimes par hectowatt sur le prix de l'éclairage électrique, à partir de 1898, il paraît qu'elle n'était pas éloignée de demander à la Société du canal de Jonage, aux conditions du tarif, 2 à 3 000 chevaux électriques.

Or, au-dessus de 50 chevaux, le cheval ne se vend plus que 250 francs par an. Et sait-on combien ce cheval électrique, coûtant à la Compagnie du gaz 250 francs, lui rapporterait, lorsqu'il serait vendu à la population, sous la forme de lumière électrique, à raison de 12 centimes l'hectowatt-heure?

Ce cheval, coûtant à la Compagnie 250 francs, serait ainsi vendu, sous forme de lumière : 3 400 fr.

De sorte que le canal de Jonage, malgré la vive opposition de la Compagnie du gaz, ne profiterait en réalité, qu'à cette Compagnie dont il viendrait décupler les bénéfices, sur le dos de la population.

Il n'en saurait être ainsi, et c'est précisément pour éviter cette monstrueuse injustice que la Société des Forces motrices du Rhône s'est réservé le droit de refuser toute demande de force dépassant 50 chevaux, non seulement en ce qui concerne la distribution de la force motrice à domicile, mais encore pour lui donner la lumière à bon marché.

Nous disions que le canal de Jonage sera en mesure, lorsque le privilège de la Compagnie du gaz aura pris fin en 1903, de fournir la lumière électrique à la population lyonnaise, avec une réduction de 50 p. 100 sur les prix actuels, si bien que la ville de Lyon, aujourd'hui la plus mal partagée sous le rapport de l'éclairage électrique parmi toutes les villes d'Europe, deviendra, au contraire, alors privilégiée entre toutes. Il est, en

conséquence, impossible de supposer que le Conseil municipal puisse priver d'un tel avantage la population qui l'a chargé de ses intérêts.

Mascara (Algérie). — *Éclairage.* Comme suite à notre information du n° 10, 1894, nous apprenons que le marché passé avec M. Guitton, ingénieur, chargé de l'éclairage électrique de la ville, est approuvé. Ce marché consiste en la fourniture d'une locomobile d'une puissance effective de 14 chevaux destinée à refouler les eaux de Sidi-Daho à Mascara. Le prix de cette locomobile est de 4 600 francs.

Le Conseil approuve également, mais en tant que de besoin seulement, l'acquisition d'une pompe jumelle prévue au projet Guitton et qui doit fonctionner provisoirement à la vapeur. Le prix de cette pompe est celui porté au contrat Guitton, soit 11 900 francs plus les frais de transport, s'il n'était pas donné suite au marché Guitton. En cas contraire, le prix de cette pompe serait compris dans les 217 000 francs, montant du marché passé avec cet ingénieur pour l'éclairage électrique de la ville.

Nancy. — *Éclairage.* La Société gazière a soumis à la municipalité de cette ville des propositions pour la distribution de l'énergie électrique pour l'éclairage et la force motrice. Ces propositions sont accueillies avec faveur par la population.

Reims. — *Exposition d'électricité.* Une exposition spéciale de mécanique et d'électricité est en ce moment en voie d'organisation à Reims sous le patronage de M. Mathieu, conseiller municipal.

On y verra. entre autres, les appareils de production de l'énergie électrique et ceux relatifs aux applications mécaniques de l'électricité dont les visiteurs pourront ainsi apprécier les qualités : initiative intelligente et que l'on ne saurait trop encourager.

Sérignan (Hérault). — *Traction.* Il est question depuis quelque temps de la construction d'une ligne à traction électrique de Béziers à la mer. Le trajet se ferait en quarante minutes. L'énergie serait fournie par le moulin de Saint-Pierre et servirait, en outre, à l'éclairage de Sérignan et de Sauvian.

Il nous est revenu que c'est la maison Patin qui s'occuperait de ce projet et qu'elle aurait l'intention d'employer le courant alternatif. L'expérience serait de tous points instructive; elle nous apprendrait principalement comment se comporteraient dans une pareille application les moteurs à courants alternatifs sur lesquels on discute encore beaucoup.

Toulouse. — *Éclairage.* La question de l'éclairage électrique a fait un pas de plus. Il paraît que toutes les formalités sont remplies et que les concessionnaires ont déposé le cautionnement de 20 000 francs exigé par la ville.

L'éclairage électrique de Hongkong. — Depuis plus de quatre ans, Hongkong est éclairé à l'électricité. La station centrale, établie sur le versant d'une colline, comporte cinq machines à vapeur horizontales compound avec condensateurs à jet.

La distribution se fait par courants alternatifs à 2 000 volts transformés à 100 volts. Les alternateurs sont du type Kapp, de 50 kilowatts. Cette partie de la distribution alimente environ 10 000 lampes à incandescence. Deux circuits séparés alimentés par des dynamos spéciales fournissent le courant aux 80 lampes à arc qui éclairent les rues.

Une particularité de cette installation, c'est la multiplicité des parafoudres. Pendant les orages, très violents dans cette région, les circuits sont, en effet, atteints par la foudre jusqu'à vingt et trente fois en une heure. Dans ces conditions, il était nécessaire de recourir aux moyens de protection les plus efficaces. On se sert des parafoudres magnétiques et des appareils Wurtz à électrodes ne formant pas d'arc.

Les circuits sont tous aériens et les câbles sont isolés au caoutchouc.

L'éclairage électrique en Russie. — Le Czar, dont les sentiments à notre égard sont connus, confie à une maison allemande (Schuckert) l'éclairage de son palais de Moscou comportant 4 000 lampes de 4 bougies, 2 000 lampes de 16 bougies et 40 lampes à arc. La même maison est chargée d'installer l'éclairage électrique dans plusieurs bâtiments impériaux, par exemple, le palais de Gatschina, les théâtres Sainte-Marie et Saint-Michel à Saint Pétersbourg, le grand théâtre de Moscou, la nouvelle prison de Saint-Pétersbourg.

L'Éditeur-Gérant : GEORGES CARRÉ.

Paris. — Imprimerie L. MARETHEUX, 1, rue Cassette.

Tome IV. Samedi 20 Juillet 1895. 2e Année. — N° 29.

L'Éclairage Électrique

REVUE HEBDOMADAIRE D'ÉLECTRICITÉ

DIRECTEUR SCIENTIFIQUE : J. BLONDIN

SECRÉTAIRE DE LA RÉDACTION : G. PELLISSIER

RENDEMENT
DES USINES ÉLECTRIQUES

STATIONS AMÉRICAINES
DISTRIBUTION ÉLECTRIQUE DE LA LIGNE DE SCEAUX A PARIS

Le développement considérable des entreprises de distribution de l'énergie électrique a conduit à étudier avec soin le rendement effectif des usines de production du courant.

Ce rendement dépend principalement du rapport entre la dépense afférente à la force motrice et le produit de l'usine en énergie électrique. En raison de la multiplicité des causes qui entrent en jeu, il importe, pour se former une opinion exacte, de comparer entre eux les résultats obtenus dans un grand nombre d'exploitations en cours.

Les ingénieurs américains attachant à juste titre une très grande importance aux comparaisons de ce genre n'hésitent pas à publier les résultats obtenus dans leurs usines d'électricité.

Au dernier congrès de la Société technique du gaz, M. Delahaye a présenté une note sur la consommation de charbon dans les stations centrales des Etats-Unis. Les tableaux qui suivent résument ces résultats pour l'État de Massachusets.

Le tableau numéro 1 rend compte du développement de l'énergie électrique dans cet État, depuis l'année 1888 jusqu'à l'année 1894.

Le tableau numéro 2 indique la production des usines et leur consommation en charbon.

TABLEAU I. — DÉVELOPPEMENT DE L'ÉCLAIRAGE ÉLECTRIQUE : ÉTAT DE MASSACHUSETTS.

LA PUISSANCE LUMINEUSE EST EXPRIMÉE EN BOUGIES

	LAMPES A INCANDESCENCE				RÉGULATEURS ÉLECTRIQUES						
EXERCICES clos le 30 juin	15	16	20-25	30	800	1 200	1 500	1 600	1 700	1 800	2 000
1888	880	52 075	1 200	»	»	2 757	»	110	»	»	5 846
1889	880	80 075	2 800	»	140	4 206	35	130	»	40	6 978
1890	880	140 870	1 700	»	70	6 005	60	60	»	40	8 425
1891	836	181 270	8 530	»	70	6 447	60	160	»	200	8 401
1892	836	214 700	1 500	»	70	8 499	60	160	125	35	9 633
1893	836	292 340	400	»	70	9 121	60	160	35	35	9 910
1894	836	316 890	»	800	70	9 605	110	160	35	35	11 293

Pour l'établissement de ce dernier tableau,

Tableau II. — Consommation de combustible (houille) dans les stations centrales américaines de production et de distribution de l'énergie électrique

Numéros du rapport	Machines		Chaudières		Dynamos (genre des)	Rendement 0/0	Circuits pour arcs voltaïques				Circuits pour lampes à incandescence				Circuits pour force motrice				Lectures faites toutes les minutes	Total des watts de tous les circuits	Consommation totale de charbon par jour en kil	Watts par kil. de charbon	Origine, qualité et composition du combustible
	classe	eau par cheval-heure en livres	classe	eau évaporée par kil. de charbon			ampères (moyenne)	volts (moyenne)	heures de service	total des watts	ampères moyenne)	volts (moyenne)	heures de service	total des watts	ampères (moyenne)	volts (moyenne)	heures de service	total des watts					
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
22	A	17	A	9 37	Multipolaire	85	»	»	»	»	7 670	124 90	24	22 967 952	»	»	»	»	30	22 967 952	39 625	578	1/2 charbon gras, 1/2 criblé maigre
1	B et F	»	C D	»	Continu-Bipolaire	»	10	8 145	24	1 954 800	224	1 140	24	6 128 640	50	500	13	325 000	60	8 408 440	21 183	357	Criblés de Hocking
9	B	»	C	»	Multipolaire-Alternatif	»	10	2 387	13	5 896 081	»	»	24	2 431 500	»	500	»	2 322 750	»	10 653 331	27 163	390	Tout-venant, Alabama
15	F	»	C	«	Alternatif-Arc	»	6 80	47	4	1 278	66 40	1 010	15	67 064	»	»	»	»	»	997 238	2 376	419	Georges Creek, Cumberland
8	E	27 1/4	C		Alternatif-Continu	»	10	1 000	12	120 000	37	1 100	13	529 100	»	»	»	«	15	649 100	1 678	386	Cumberland
18	B X F X	32 7	C	11 30	Alternatif-Continu	»	6 70	7 000	8	355 144	7 05	1 172	24	1 983 024	42 40 80 30 65 20	1 142 325 548	23 25 10 16 50	1 125 765 260 170 589 743	15	4 313 846	11 223	384	Charbon gras de Pennsylvanie
12	B	»	B	8 40	Arc	»	9 50	48	14	10 552 752	»	»	»	»	»	»	»	»	»	10 552 752	28 323	375	Charbon gras
2	B E Z	15 50	A	»	Divers	»	9 25	4 800	12	6 600 000	150	2 200	24	7 920 000	»	250 525	24 18	908 200 400 000	10	15 878 250	22 680	347	Noisettes et menus
16	E	»	C	»	Arc-Alternatif	»	Compteur	Compteur	»	246 000	»	»	»	580 300	»	»	»	948 000	»	1 774 000	»	331	Charbon gras, Pocahontas
13	C X	24	C	10 50	Divers	»	6 80	2 275	14	7 042 426	»	»	»	»	»	»	»	»	»	7 042 426	22 787	309	Georges Creek, Cumberland
10	B F	23 60	B	11 34	Alternatif-Bipolaire	»	9 80	50	12	1 817 256	137	1 130	24	3 715 200	36	525	24	465 069	30	5 997 456	20 412	293	Noisettes, Babylone
21	C X	»	A C	»	Id.	»	6 80	»	»	1 779 051	37	»	16 50	837 930	»	»	10 50	190 000	30	2 806 981	9 617	291	Noisettes lavées, Illinois
17	B E	»	C	»	Id.	»	6 80	»	7	357 000	40	1 200	24	672 000	»	»	»	»	60	1 029 000	3 628	284	Bitumeux, Coaldale
19	F	»	C	»	Alternatif	»	6 80	1 100	5 75	43 010	27	1 100	7 50	Compteur 224 400	»	»	»	»	60	267 410	997	267	Pocahontas, Cumberland
3	A Y	18	C	8 80	Alternatif-Bipolaire	»	10	Compteur	24	1 990 000	»	Compteur	24	90 900	»	»	24	950 000	»	3 849 000	16 022	238	Tout-venant, Michigan
20	F	»	C	9 02	Divers	»	6 80	6 500	8 33	367 333	100	240	16	384 000	»	»	»	»	»	845 333	3 688	229	Cumberland et criblés durs
14	A	»	»	«	Id.	»	»	»	»	»	6 000	116	24	»	»	»	»	»	15	16 704 000	74 390	221	Buckwheat, nos 1 et 2
4	»	»	A	»	Id.	»	10	3 472	24	833 250	339	117 50	24	3 823 600	23	1 060	24	584 640	15	5 241 500	27 344	190	Gros et noix, Illinois
7	F	»	C	7 68	Alternatif	»	6 80	1 150	7 25	56 840	24	1 040	7 25	165 560	»	»	»	»	30	162 400	891	183	Noix
6	F	»	C	»	Id.	»	6 80	656 25	8	35 700	16 75	2 000	8	268 000	5	3 916	6 50	127 239	30	530 996	2 986	176	Menus, Indiana
5	G X	»	A	»	Continu-Alternatif	»	»	»	»	»	180	116 60	24	2 016 000	»	»	»	«	»	2 016 000	11 612	172	Noix, Illinois
11	»	»	»	»	Id.	»	10	50	»	1 500 000	104 140	120 1 100	24 24	3 700 000 299 000	32	550	14	509 850	»	6 003 850	39 349	152	Menus gras
23	B E X	»	A	»	Id.	»	»	»	»	»	160	1 000	16	1 640 000	»	»	»	»	30	1 640 000	19 051	86	Gros, Indiana
24	F	»	C	6 30	Divers	»	10	50	12	1 104 250	112	1 120	12	1 505 280	45	223	18	181 035	30	2 790 565	36 197 5 397	66 66	Noisettes bitumineuses Menus id.

la classification suivante a été faite entre le matériel des stations.

Classe A. — Chaudières horizontales à bouilleurs. Alimentation par réchauffeurs, avec pompe à vapeur ou petit cheval. Chauffage à la main. Moteur à vapeur à triple expansion et condensation. Dynamo attelée sur l'arbre du moteur.

Classe B. — Chaudières à bouilleurs verticaux. Économiseurs de vapeur. Alimentation et chauffage comme dans la classe A. Moteurs à vapeur Corliss, compound, à condensation. Commande de la dynamo par transmission intermédiaire.

Classe C. — Chaudières horizontales tubulaires. Alimentation comme dans la classe A. Moteurs à vapeur Corliss simples, ou à petite vitesse, à condensation. Commande de la dynamo par transmission intermédiaire.

Classe D. — Chaudières verticales tubulaires. Alimentation comme dans la classe A. Moteurs à vapeur Corliss simples, sans condensation.

Classe E. — Moteurs à vapeur à grande vitesse, compound, à condensation. Commande directe de la dynamo par le volant du moteur.

Classe F. — Moteurs à vapeur à grande vitesse, compound, sans condensation. Commande directe de la dynamo par le volant du moteur.

Classe G. — Moteurs à vapeur à grande vitesse, compound, sans condensation.

X se rapporte à l'emploi de l'un des types de moteurs à vapeur sans condensation ci-dessus indiqués.

Y se rapporte à la commande directe de la dynamo par courroie ou câble du volant du moteur à vapeur.

Z se rapporte au montage de la dynamo sur l'arbre même du moteur à vapeur.

A côté de ces résultats, M. Delahaye a signalé ceux obtenus par l'usine électrique desservant le prolongement dans Paris de la ligne de Sceaux. Cette comparaison relevée par le « *Gas World* » du 28 juin 1895, fait ressortir la supériorité des résultats obtenus à Paris sur ceux des stations les mieux agencées des États-Unis.

En se reportant au tableau numéro 2, on voit que le meilleur rendement obtenu pour les stations centrales de l'État de Massachusets correspond à 578 watts par kilogr. de charbon. Ce résultat est atteint dans une usine où le total des watts-heure de tous les circuits est de 22 967 952, avec un matériel composé de chaudières avec réchauffeur, moteurs à triple expansion à condensation actionnant directement des dynamos couplées sur leur arbre.

Le tableau 2 montre que ce résultat est de beaucoup supérieur à celui fourni par les autres stations américaines.

Le maximum de l'énergie utilisée par jour sur la ligne de Sceaux est de 986 509 watts-heure. Le matériel employé comprend des machines à vapeur compound attaquant les dynamos par courroie. Le rendement atteint, en service courant, 596 watts-heure par kilogr. de charbon.

Ce résultat a été constaté dans des essais effectués avec la plus grande rigueur.

Les essais officiels ont eu lieu le 17 mai 1895. La durée des essais a été de vingt-quatre heures, du 17 mai 1895 à une heure du matin au lendemain à la même heure.

La production moyenne constatée pour la journée entière en service normal a été de 596 watts utilisables sur le réseau par kilogramme de charbon brûlé à l'usine.

Tout le charbon consumé à l'usine pendant cette durée a été pesé, sans aucune déduction pour la période de quatre heures d'arrêt, pour la reprise du service, ni pour les cendres. Le poids de charbon brûlé a été de 1 656 kilog.

D'autre part, l'énergie électrique fournie sur le réseau pendant toute la durée de l'essai a été de 986 509 watts, d'où il résulte pour la production par kilogramme de charbon :

$$\frac{986.509^{w}}{1.656} = 596^{wh}$$

Rien n'a été modifié au service normal pour les essais.

Fig. 1. — Plan général du prolongement métropolitain de la ligne de Sceaux.

La puissance a varié de 36 440 à 79 000 watts, suivant le nombre des lampes et appareils divers mis en service aux différentes heures de la journée.

Le mesure de l'énergie utilisée a été faite au moyen de compteurs système Aron installés à chaque point d'utilisation. Ces mesures ont été contrôlées :

1° Au moyen de lectures faites sur un compteur général placé à l'usine.

2° Au moyen de graphiques tracés par les ampèremètres et voltmètres enregistreurs placés à l'usine.

3° Au moyen de lectures faites de quart d'heure en quart d'heure à tous les tableaux de distribution sur des ampèremètres et voltmètres étalonnés.

La concordance de toutes ces mesures a été parfaite, les plus grands écarts ne dépassant pas 3 p. 100 pour l'ensemble de l'installation.

Si donc les électriciens américains peuvent légitimement être fiers du développement énorme qu'ils ont su donner à leur industrie, leur prétention de réaliser en même temps les installations les plus économiques n'est pas fondée ; les résultats qu'ils obtiennent sont surpassés en France dans des installations moins importantes.

L'avantage constaté pour l'usine de la ligne de Sceaux résulte du choix judicieux des divers organes qui la composent par rapport au service à assurer.

Les détails de cette installation nouvelle présentent donc un réel intérêt. Nous en donnons la description dans ce qui suit.

Le tronçon métropolitain nouvellement établi se détache de l'ancienne ligne de Sceaux, au droit de la rue de la Tombe-Issoire, c'est-à-dire à 250 m. du bâtiment des voyageurs de l'ancienne gare ; il longe l'avenue Montsouris, traverse souterrainement la place Denfert-Rochereau, suit la rue du même nom, une partie de l'avenue de l'Observatoire et, enfin, le boulevard Saint-Michel (fig. 1). La ligne est souterraine sur presque toute sa longueur ; les seules parties à ciel ouvert sont à la traversée du square de la place Denfert-

Rochereau et du terre-plein de l'avenue de l'Observatoire.

Trois stations ont été établies sur la nouvelle ligne de Sceaux :

L'une à la place Denfert-Rochereau, en remplacement de l'ancienne gare tête de ligne; la deuxième à l'intersection de l'avenue de l'Observatoire et du boulevard de Port-Royal; enfin, la troisième, au terminus, c'est-à-dire à l'angle de la rue Gay-Lussac et du boulevard Saint-Michel.

Le souterrain se prolonge à 250 mètres de cette dernière gare, c'est-à-dire jusqu'au droit de la place de la Sorbonne, pour réserver deux voies de garage en prolongement des voies principales.

Les travaux dans Paris ont été d'une exécution particulièrement délicate. Les ingénieurs de la Compagnie d'Orléans ont réussi à les mener à bien, sans entraver la circulation, dans un délai de trois ans.

La dépense totale, y compris l'acquisition de l'immeuble du boulevard Saint-Michel, où est installée la gare du Luxembourg, s'est élevée à 8 800 000 francs.

En la répartissant sur la longueur totale de 2 165 m. comprise entre le pont de la rue Tombe-Issoire et le terminus (place de la Sorbonne), on trouve une moyenne de 4 065 000 fr. par kilomètre.

Si l'on fait abstraction de la dépense de 1 410 000 francs afférente à l'acquisition de l'immeuble du boulevard Saint-Michel, on trouve 3 410 000 francs par kilomètre.

Les projets ont été étudiés et les travaux exécutés sous la haute direction de M. Rougier, directeur des travaux de la Compagnie d'Orléans, par MM. Brière, ingénieur en chef de la voie, et H. de la Brosse, ingénieur, avec la collaboration de MM. Verdeaux, inspecteur de la voie, Pinat, Graves et Minard, conducteurs des travaux.

La très heureuse réalisation de la nouvelle ligne a montré qu'il était possible d'établir dans Paris un réseau répondant à tous les besoins de la circulation, sans compromettre en rien le cachet artistique de la ville.

Comme nous venons de le dire, la ligne est presque entièrement souterraine : cette disposition répond très bien aux diverses conditions à remplir, mais elle entraîne avec elle des inconvénients et des sujétions dont il a fallu tenir compte. Dans un réseau souterrain, l'humidité et l'insalubrité de l'atmosphère sont à redouter. Les nécessités du service exigent, d'autre part, un éclairage puissant et continu, une très grande rapidité dans les mouvements du matériel et des commodités particulières pour l'accès des voyageurs aux gares souterraines.

Pour assurer l'éclairage dans un semblable réseau, pour actionner les ventilateurs, ascenseurs, plaques tournantes, signaux, etc., en un mot, tous les organes nécessaires pour répondre aux besoins que nous venons de citer, on ne peut songer à avoir recours à un autre agent que l'électricité. C'est ce que la Compagnie d'Orléans a bien compris, et c'est dans ces conditions qu'elle a établi son exploitation nouvelle.

Toutefois, la traction des trains sur le nouveau réseau se fait par des locomotives à vapeur ordinaires, pourvues d'un ingénieux système de condensation de la vapeur, et brûlant du coke, de façon à altérer le moins possible la transparence du souterrain, tout en conservant le matériel actuellement en usage sur le reste du réseau de la Compagnie.

La condensation de la vapeur d'échappement des machines se fait en envoyant l'échappement dans les bâches alimentaires installées de chaque côté de la locomotive.

La vapeur se condense en échauffant l'eau contenue dans ces bâches. Cette eau est évacuée rapidement aux stations extrêmes et remplacée par de l'eau froide.

Les bâches renferment 4 mètres cubes d'eau : l'eau froide est à la température d'environ 15°; la durée de marche est de 3 minutes pour une distance de 1 800 mètres. Lorsque les machines quittent la station du Luxembourg avec de l'eau froide, elles arrivent à la sortie du souterrain, c'est-à-dire à la gare Denfert, avec de l'eau qui atteint une température de 80°.

La quantité de chaleur à absorber dans ce court trajet est donc de 260 000 calories.

Ces chiffres montrent que si l'artifice ingénieux employé par la Compagnie d'Orléans convient très bien pour le cas particulier où il est appliqué, il ne saurait être étendu à un réseau métropolitain important. Dans ce cas, pour la traction, c'est encore à l'électricité qu'on devra forcément recourir; mais, sauf pour la traction, l'électricité joue, dans la nouvelle ligne de Sceaux, le rôle capital qui lui sera dévolu pour les lignes du Métropolitain futur. Il est donc intéressant d'examiner en détail cette partie de l'installation.

INSTALLATIONS ÉLECTRIQUES. — Le projet à réaliser comportait l'éclairage des gares et de tous les services, au moyen de 95 lampes à arc et environ 500 lampes à incandescence, l'installation de la commande électrique d'une plaque tournante au dépôt des machines de Montrouge, de deux ascenseurs à la gare Denfert, de trois ascenseurs à la gare du Luxembourg et, dans cette même gare, de la commande électrique de deux plaques tournantes, d'une pompe d'épuisement et d'un ventilateur. En outre, le courant devait être fourni pour actionner tous les signaux. Ces appareils d'utilisation se trouvaient être répartis sur une longueur de 3 200 mètres.

Le programme tracé par la Compagnie comportait l'établissement d'une usine électrique unique dans les dépendances de la gare Denfert.

Cette usine devait alimenter l'éclairage et les moteurs répartis sur toute la ligne, jusqu'au terminus du Luxembourg, c'est-à-dire à une distance de 2 000 mètres de l'usine génératrice.

Le système adopté devait permettre de prolonger la distribution jusqu'à Cluny, soit à une distance de 3 000 mètres environ de la gare Denfert, le maximum de la perte de charge de l'usine à Cluny n'excédant pas 15 p. 100.

Ces conditions nous avaient fait songer tout d'abord à l'emploi de courants alternatifs avec postes de transformateurs à chaque centre d'utilisation; mais en comparant cette solution à celle qu'il était possible d'employer avec les courants continus, nous avons constaté que ces derniers permettaient de réaliser le projet tracé par la Compagnie dans des conditions plus avantageuses à tous égards.

La solution à laquelle nous nous sommes arrêté comporte une distribution directe au moyen d'un réseau à trois fils, la tension entre les deux ponts étant maintenue constamment à 220 volts et l'alimentation à ce réseau étant assurée au moyen d'artères partant de l'usine et aboutissant à chacun des centres principaux.

La Compagnie ayant reconnu les avantages de ce projet l'a adopté et a confié l'exécution de l'ensemble des installations électriques aux ateliers Sautter-Harlé et Cie.

Tracé général de la distribution. — Le schéma ci-dessous (fig. 2) reproduit le tracé général de la distribution.

L'usine électrique comprend deux ensembles formés chacun d'une chaudière, d'un moteur à vapeur et d'une dynamo double d'une puissance de 80 000 watts.

Chaque induit des dynamos doubles peut donner 40 000 watts sur chacun des trois fils.

De l'usine partent trois artères aboutissant respectivement aux gares Denfert, de Port-Royal et du Luxembourg. Les artères rejoignent à ces divers centres le réseau général qui règne sur toute l'étendue de l'installation et maintiennent, comme nous le disons plus haut, 220 volts entre chaque pont de ce réseau à trois fils.

En raison de cette différence de potentiel, les lampes à arc sont montées par quatre en tension et les lampes à incandescence par deux.

Les divers groupes de lampes de chacune des gares sont commandés par un tableau secondaire placé dans la gare même.

Tout cet éclairage est branché directement sur le réseau. Il en est de même pour les élec-

tromoteurs dont le service est continu, c'est-à-dire ceux actionnant le ventilateur et la pompe d'épuisement du Luxembourg.

Au contraire, les électromoteurs dont la marche est très intermittente, c'est-à-dire ceux actionnant les ascenseurs et plaques tournantes, sont desservis au moyen de deux batteries d'accumulateurs, dont l'une est installée dans l'usine électrique elle-même et l'autre dans la gare du Luxembourg. Si l'on avait dû commander directement, par le courant de l'usine, tous ces appareils, il aurait fallu augmenter dans une très forte proportion la puissance de cette dernière et toute la canalisation, car il eût été nécessaire de rendre possible le fonctionnement simultané de tous ces appareils, afin de parer à toute éventualité.

Au contraire, des batteries d'accumulateurs, de puissance relativement faible, chargées d'une manière continue et prenant, par suite, une charge bien régulière à l'usine génératrice, assurent dans d'excellentes conditions l'alimentation de tous les appareils à marche intermittente.

De plus, ces accumulateurs permettent d'éclairer les points utiles de la ligne pendant les courts arrêts du service, arrêts de quatre heures chaque nuit.

Ces batteries d'accumulateurs empruntent leur courant de charge directement au réseau; mais comme elles doivent fournir le courant à la tension même du réseau, il faut disposer, pour leur charge, d'une force électromotrice supérieure à

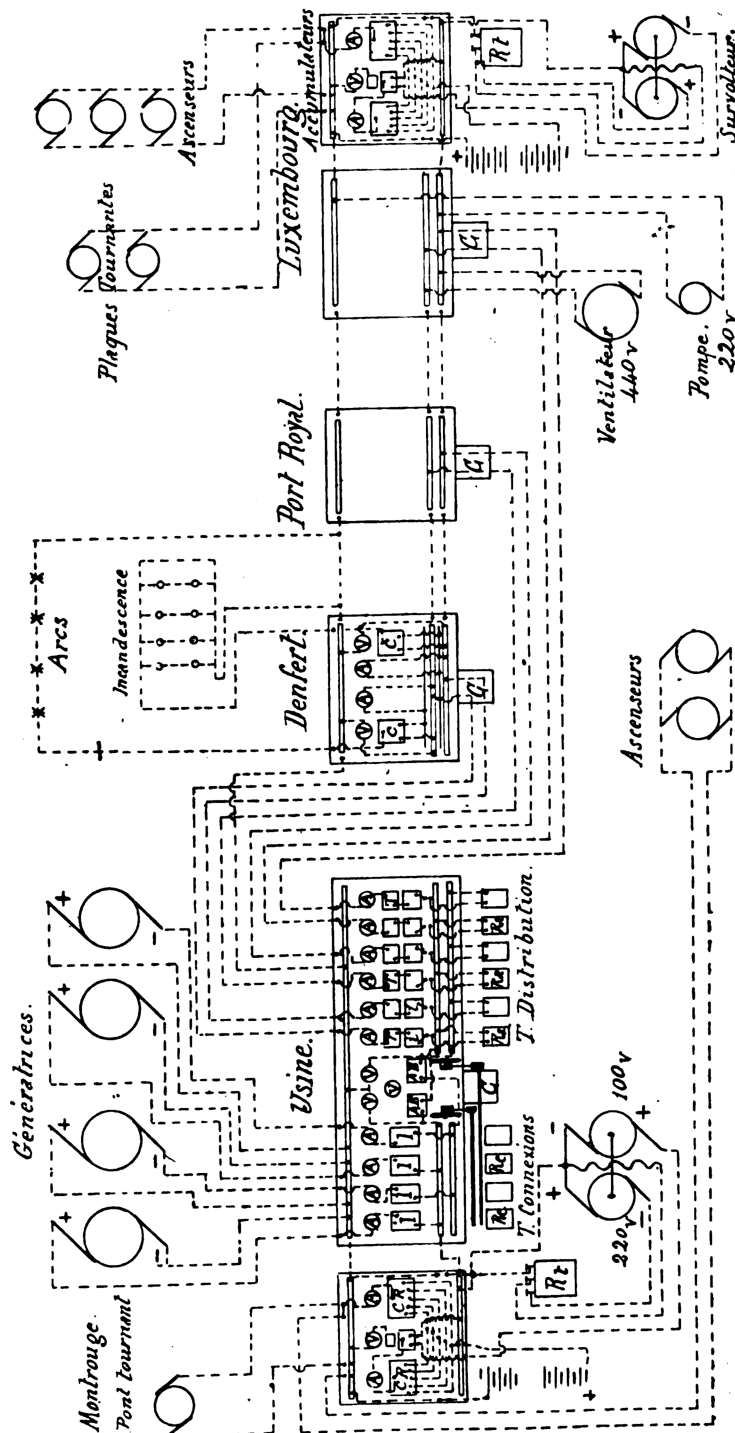


Fig. 2. — Tracé général de la distribution.

celle disponible sur ce réseau. Pour obtenir ce résultat, il a été établi, pour chaque batte-

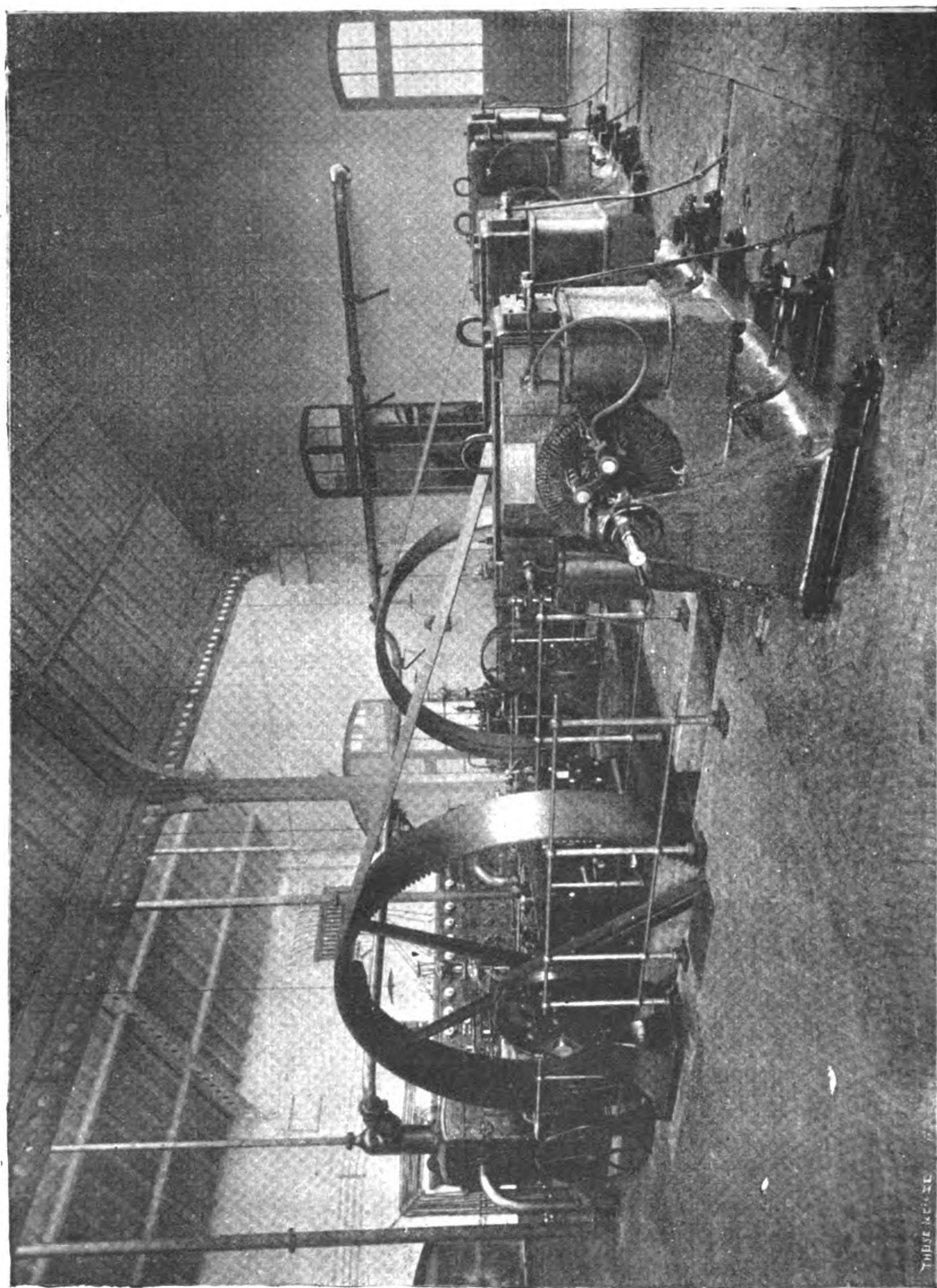


Fig. 3. — Salle des machines de l'usine électrique de la ligne de Sceaux.

rie, un survolteur permettant de remonter la tension à la valeur voulue pour la charge.

Comme on peut le remarquer sur le schéma de la figure 2, chacune des batteries n'est en communication qu'avec l'un des ponts du trois-fils ; mais la batterie de la gare Denfert est reliée à l'un des ponts, tandis que celle de la gare du Luxembourg est reliée à l'autre pont. Ce dispositif nous a permis de limiter le nombre d'éléments de chaque batterie à 122, c'est-à-dire au nombre nécessaire pour fournir le courant à 220 volts, et grâce au montage de chaque batterie sur un pont différent, le courant des accumulateurs peut desservir l'ensemble de l'installation, de telle sorte que, pendant l'arrêt des machines, on peut mettre en activité un appareil quelconque sur le réseau, bien entendu, en limitant le débit à la puissance des batteries.

Après cet exposé d'ensemble, nous allons revenir avec quelques détails sur chaque partie de l'installation et sur les divers appareils employés.

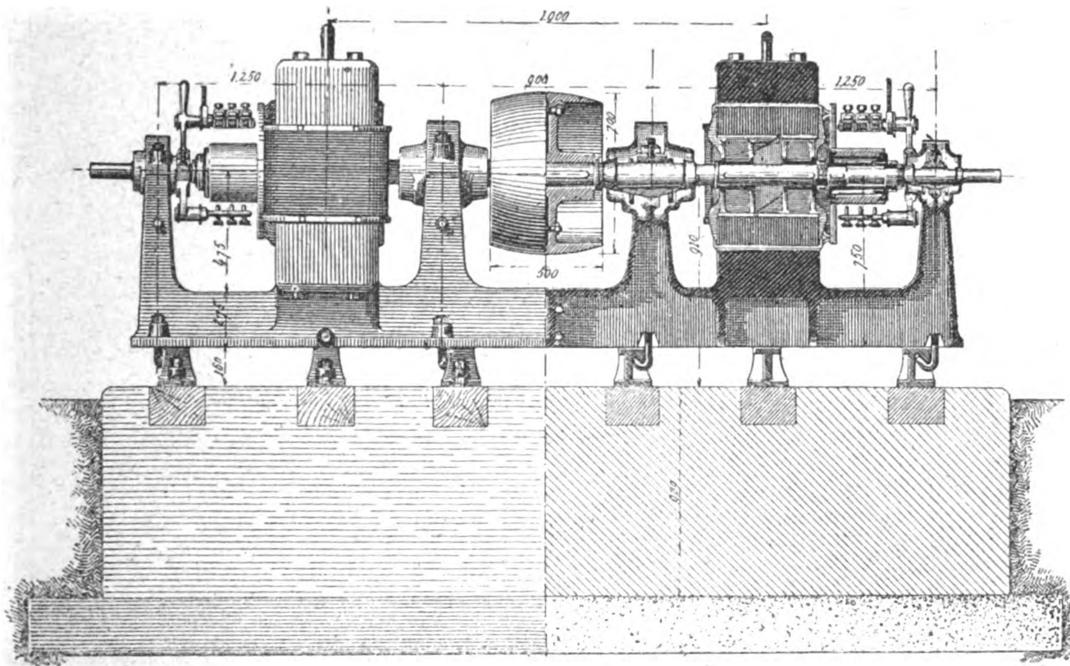


Fig. 4. — Dynamo à deux induits, type Sautter Harlé et Cie.

Usine génératrice. — L'usine électrique de la place Denfert (fig. 3) comprend deux groupes formés chacun d'une chaudière multitubulaire, système Roser, de 90 mètres carrés de surface de chauffe, timbrée à 12 kilogr., d'un moteur compound Chaligny et Cie, fournissant 125 chevaux à 85 tours, et d'une dynamo double pouvant donner 80 000 watts à 420 tours, type Sautter-Harlé et Cie, chaque induit pouvant débiter 160 ampères sous 250 à 270 volts (fig, 4).

Condensation. — Ne disposant que de l'eau de la ville, au prix de 0 fr. 10 le mètre cube, la Compagnie avait admis que les machines à vapeur fonctionneraient à échappement libre. Mais en employant un réfrigérant, nous avons pu adopter la condensation et bénéficier, de ce chef, d'une importante économie de combustible; cela en dépassant moins d'eau qu'avec la marche à échappement libre.

Le réfrigérant employé est du système Chaligny et Cie. Il consiste en une caisse de forme cubique renfermant plusieurs étages de fascines. L'eau chaude sortant du condenseur est refoulée par la pompe à air à la partie supérieure de la caisse; elle est distribuée par un

système de gouttières qui répartissent l'eau d'une façon uniforme ; elle descend en se divi-

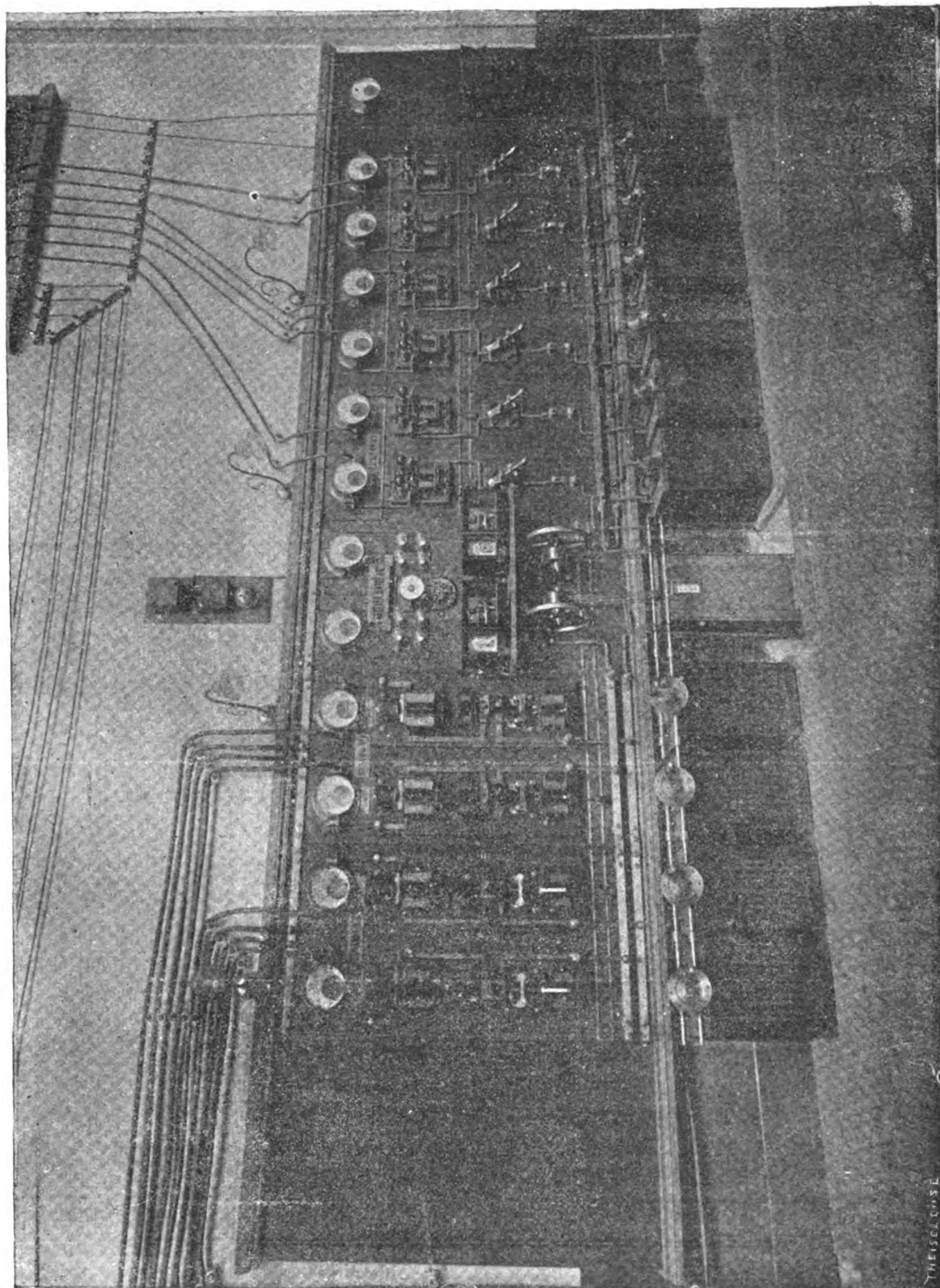


Fig. 5. — Tableau de connexion et de distribution de l'usine électrique de la ligne de Sceaux.

sant à travers les étages de fascines. Un ventilateur placé au bas de la caisse y fait passer

un courant d'air énergique circulant de bas en haut. L'eau traversant l'appareil est refroidie, par suite du passage de l'air froid à son contact intime et de sa vaporisation partielle.

L'eau froide est reprise au bas de l'appareil et repasse dans les condenseurs des machines.

La consommation d'eau se réduit à celle entraînée par l'air à l'état de vapeur; cette quantité d'eau est d'environ 8 kilogrammes par cheval et par heure, quantité bien inférieure à celle que les machines consomment lorsqu'elles fonctionnent à échappement libre.

L'air refoulé par le ventilateur et entraînant l'eau vaporisée sort par une cheminée surmontant la caisse du réfrigérant.

Tableaux de l'usine (fig. 5). — Chaque dynamo double comporte deux induits affectés respectivement à chacun des ponts du trois-fils. Les induits desservant un même pont et appartenant à des groupes de machines différents peuvent se grouper en parallèle sur ce même pont.

Le tableau de l'usine est muni des appareils nécessaires pour effectuer en sûreté ces groupements; il porte, en outre, les appareils de distribution et de réglage des trois artères principales. Ce tableau est divisé en deux parties qui sont montées sur des panneaux d'ardoise contigus, mais constituent des groupes bien distincts; l'un, affecté au réglage et à la mise en circuit des dynamos, constitue le tableau de connexion des machines; l'autre, desservant les artères, est le tableau de distribution.

Ces deux tableaux, comme les tableaux secondaires de distribution des gares, portent trois barres correspondant respectivement aux trois fils de la distribution. A la partie supérieure des tableaux se trouve la barre de compensation; à leur partie inférieure se trouvent les barres extrêmes + et —.

Tableau de connexion. — Le tableau de connexion des dynamos porte pour chaque induit un ampèremètre indiquant l'intensité du courant et un *interrupteur à enclenchements électromagnétiques* (fig. 6). Cet appareil sert à mettre en circuit l'induit qui lui correspond. Il est disposé de manière à rendre impossible cette mise en circuit, si la différence de potentiel aux bornes de l'induit n'est pas égale à celle qui existe entre les barres du tableau sur lequel il doit être couplé; d'autre part, si, le couplage étant fait, le courant de la machine vient à s'abaisser jusqu'à zéro pour une cause quelconque, un ralentissement par

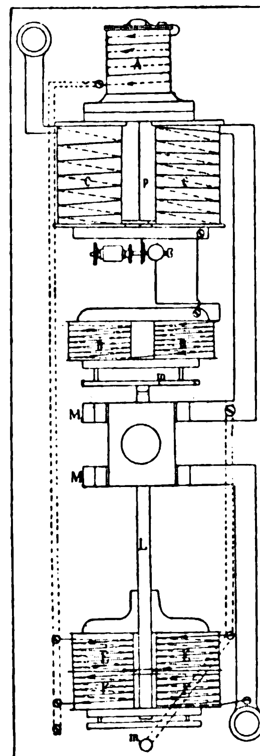


Fig. 6. — Schéma d'un interrupteur à enclenchements électromagnétiques.

exemple, l'appareil se déclenche automatiquement et isole la machine du tableau.

On voit donc que l'appareil a la double fonction d'éviter un couplage inopportun des dynamos entre elles et qu'il pare automatiquement aux inconvénients résultant d'une différence de marche venant à se produire entre deux dynamos couplées en parallèle.

L'appareil se compose essentiellement d'un levier L pouvant fermer le circuit par son contact entre deux mâchoires. Un système de bobines EE, FF, agissant sur une armature *m*,

enclenchant le levier par sa partie inférieure, empêche la fermeture du circuit, tant que l'armature *m* est attirée. Cette armature est soumise à l'action de deux séries de bobines enroulées en sens inverse; une des séries FF est en dérivation aux barres du tableau, l'autre série EE est en dérivation aux bornes de la dynamo. Pour que l'action de ces bobines s'annule et, par suite, que l'armature *m* abandonne le levier L, il faut que les forces électromotrices aux bornes de la dynamo et aux barres du tableau soient égales.

L'appareil porte à sa partie supérieure deux bobines CC traversées par le courant principal de la machine. Ces bobines agissent sur un pendule polarisé par un solénoïde A monté en dérivation entre les barres du tableau; ce pendule peut établir, par son extrémité, un contact faisant passer le courant dans un groupe de bobines BB agissant sur une armature *m* commandant le levier principal L de l'interrupteur, qui est soumis à l'action permanente de forts ressorts tendant à l'écarter de manière à couper le circuit de la machine. Pendant la marche normale, ces électros ne sont pas excités; leur armature est libre et retient, par un appendice dont elle est munie, le levier dans sa position de fermeture du circuit. Aussitôt que le courant est envoyé dans les bobines BB, l'armature *m* est appelée, le levier L se trouve dégagé et il est vivement chassé en avant sous l'impulsion des ressorts. Le courant du circuit est alors interrompu. C'est ce qui a lieu sous l'action du contact établi par le pendule polarisé lorsque l'intensité du courant de la machine vient à s'annuler.

Le tableau de connexion porte, en outre, deux voltmètres restant constamment en circuit indiquant la différence de potentiel sur chaque pont, et un voltmètre apériodique avec commutateur pour mesurer avec le même appareil la différence de potentiel entre les barres du tableau et les induits des dynamos. Le tableau porte également deux ampèremètres enregistreurs et un compteur général.

Au bas de ce tableau sont placés les rhéostats de réglage des champs magnétiques des dynamos. Ils peuvent être commandés isolément par le moyen de manettes actionnant les vis d'entraînement des contacts mobiles, ou simultanément par deux transmissions agissant respectivement sur les rhéostats de chacun des deux ponts; cela, suivant qu'il s'agit de régler une machine isolément ou de faire varier la différence de potentiel aux bornes de toutes les machines à la fois.

Le fonctionnement de ce tableau est des plus simples.

Pour mettre en circuit une dynamo, on l'amène à sa vitesse de régime, et au moyen du voltmètre apériodique, on vérifie l'égalité des différences de potentiel à ses bornes et aux barres du tableau; lorsque l'égalité est obtenue, la palette qui verrouillait le commutateur à enclenchements électromagnétiques tombe d'elle-même; il suffit alors de fermer le levier et la machine est en circuit, On règle le débit de cette machine en agissant sur sa résistance de réglage du champ.

Pour mettre une dynamo hors circuit, on opère à l'inverse, en ramenant son débit à zéro par l'action des rhéostats de champ.

Lorsque l'intensité s'annule, l'interrupteur coupe automatiquement le circuit.

Tableau de distribution. — Le tableau de distribution porte, sur le fil + et sur le fil — de chaque artère, un ampèremètre, un interrupteur, ainsi qu'un coupe-circuit. Sur chacun de ces fils est intercalé, en outre, un rhéostat d'artère placé au bas du tableau.

A la partie supérieure se trouvent des indicateurs de tension avec signaux optiques et acoustiques avertissant le surveillant de l'usine électrique dès que la différence de potentiel à l'un des tableaux de distribution des gares n'est plus à sa valeur normale, par suite d'extinction ou d'allumage des lampes. Ces appareils sont à double enroulement, ce qui évite l'emploi de fil pilote; ils comportent un enroulement en dérivation entre les barres du tableau et un enroulement en série sur l'artère qui produit sur l'appareil un effet correspondant à la perte de charge dans cette artère.

Accumulateurs. — Comme nous l'avons vu dans ce qui précède, l'usine électrique renferme une batterie d'accumulateurs; cette batterie, formée de 122 éléments Tudor, d'une capacité de 240 ampères-heure, est desservie par un tableau de distribution spécial (fig. 7).

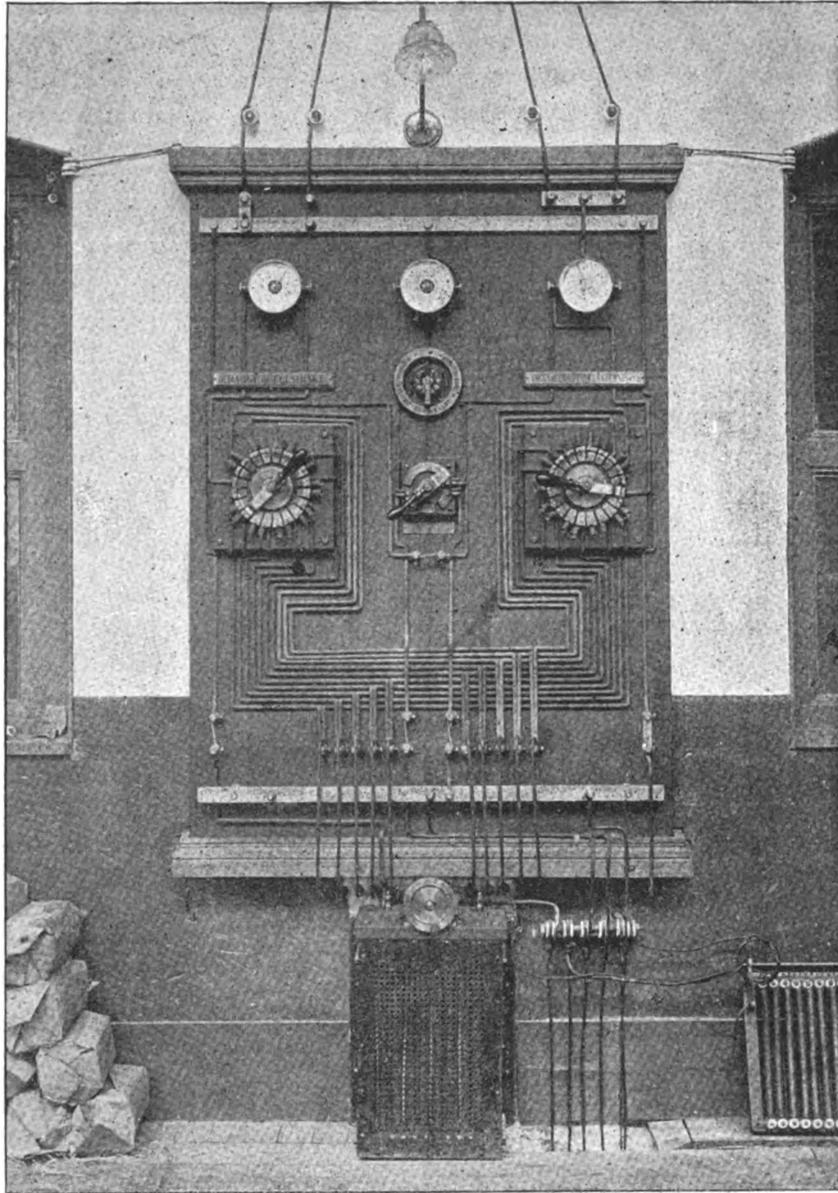


Fig. 7. — Tableau des accumulateurs de l'usine.

Ce tableau porte, pour la charge et pour la décharge, deux ampèremètres et deux commutateurs réducteurs permettant de régler le nombre des éléments en circuit. Un voltmètre apériodique peut être mis, au moyen d'un commutateur, en relation avec les barres du tableau ou la batterie. Enfin, un commutateur à deux directions met la batterie en communication, soit directement avec les barres du tableau, soit avec le survolteur donnant l'appoint

nécessaire pour la charge. Ce survolteur est un transformateur à courant continu dont les deux enroulements sont montés sur la même bobine et dans le même champ magnétique. On règle la force électromotrice additionnelle du circuit de la batterie au moyen d'un rhéostat monté en série sur le circuit primaire.

Le courant de cette batterie alimente l'éclairage de l'usine, les deux ascenseurs de la gare Denfert et le pont tournant du dépôt de Montrouge.

Pont tournant de Montrouge (fig. 8). — Ce pont était antérieurement actionné par deux treuils mus à bras placés sur un même diamètre du pont et commandant chacun un galet de roulement; l'un de ces treuils a été remplacé par un appareil électrique.

La commande de l'électromoteur de ce treuil est faite par un simple interrupteur, au moyen d'un système de relais.

Un commutateur à deux directions met en communication l'un ou l'autre des deux relais correspondant aux deux sens de marche du pont. Chacun de ces relais envoie le courant de l'induit de l'électromoteur à travers un rhéostat limitant à une valeur convenable l'intensité du courant de démarrage. Dès que l'électromoteur a acquis une vitesse suffisante, la résistance intercalée se trouve supprimée automatiquement par un troisième relais.

Ascenseurs. — Les deux ascenseurs de la gare Denfert servent surtout pour les bagages : ils sont du système Edoux. Ils peuvent élever une charge de 700 kilogr., à la vitesse de 0 m. 40 à 0 m. 50 par seconde.

Les cabines sont supportées au moyen de câbles s'enroulant sur des treuils à tambour actionnés par un moteur électrique, au moyen d'une vis tangente.

Le système de manœuvre des ascenseurs est disposé comme il est d'usage avec les appareils hydrauliques. Une corde passant à l'intérieur de la cabine agit sur le commutateur de mise en marche; l'arrêt est obtenu automatiquement à fin de course par des tocs placés sur la cabine et venant agir sur la corde de manœuvre, par l'intermédiaire de poulies de renvoi. Pour que l'arrêt se fasse avec douceur et précision, le commutateur introduit d'abord des résistances dans le circuit, puis met l'induit de l'électromoteur en court circuit.

Tableau de distribution de la gare Denfert. — Le tableau de distribution de cette gare porte les commutateurs d'allumage et d'extinction des différents circuits d'arcs et d'incandescence; il porte, en outre, des coupe-circuit de sûreté. Les commutateurs sont disposés de manière que dans l'une des positions qu'ils peuvent occuper, le courant du circuit correspondant traverse un ampèremètre; dans une deuxième position, le courant passe directement sans traverser l'ampèremètre; la troisième position correspond à l'extinction.

Sur ce tableau se trouvent des voltmètres toujours en circuit pour indiquer aux agents la différence de potentiel existant entre les barres.

Ce tableau dessert 40 lampes à arc de 6 et 10 ampères, et 240 lampes à incandescence.

Les trois ascenseurs Edoux de la gare du Luxembourg sont identiques à ceux de la gare Denfert.

Tableau de distribution de la gare de Port-Royal. — La gare de Port-Royal possède un tableau tout à fait analogue desservant 24 lampes à arc de 6 ampères et 60 lampes à incandescence.

Éclairage. — L'éclairage de la gare du Luxembourg est obtenu par 32 arcs de 10 ampères et 200 lampes à incandescence.

Plaques tournantes. — A la gare du Luxembourg sont installées deux plaques tournantes actionnées par des treuils électriques. Le treuil de chacune des plaques est placé dans une fosse voisine de la plaque. La commande se fait au moyen d'une chaîne Galle, engagée dans la couronne formée par un fer en U.

La commande électrique des plaques du Luxembourg est analogue à celle que nous avons décrite pour le pont tournant du dépôt de Montrouge. La commande se fait au moyen d'une pédale.

Ventilateur. — Le ventilateur destiné à aérer la gare du Luxembourg et la partie du

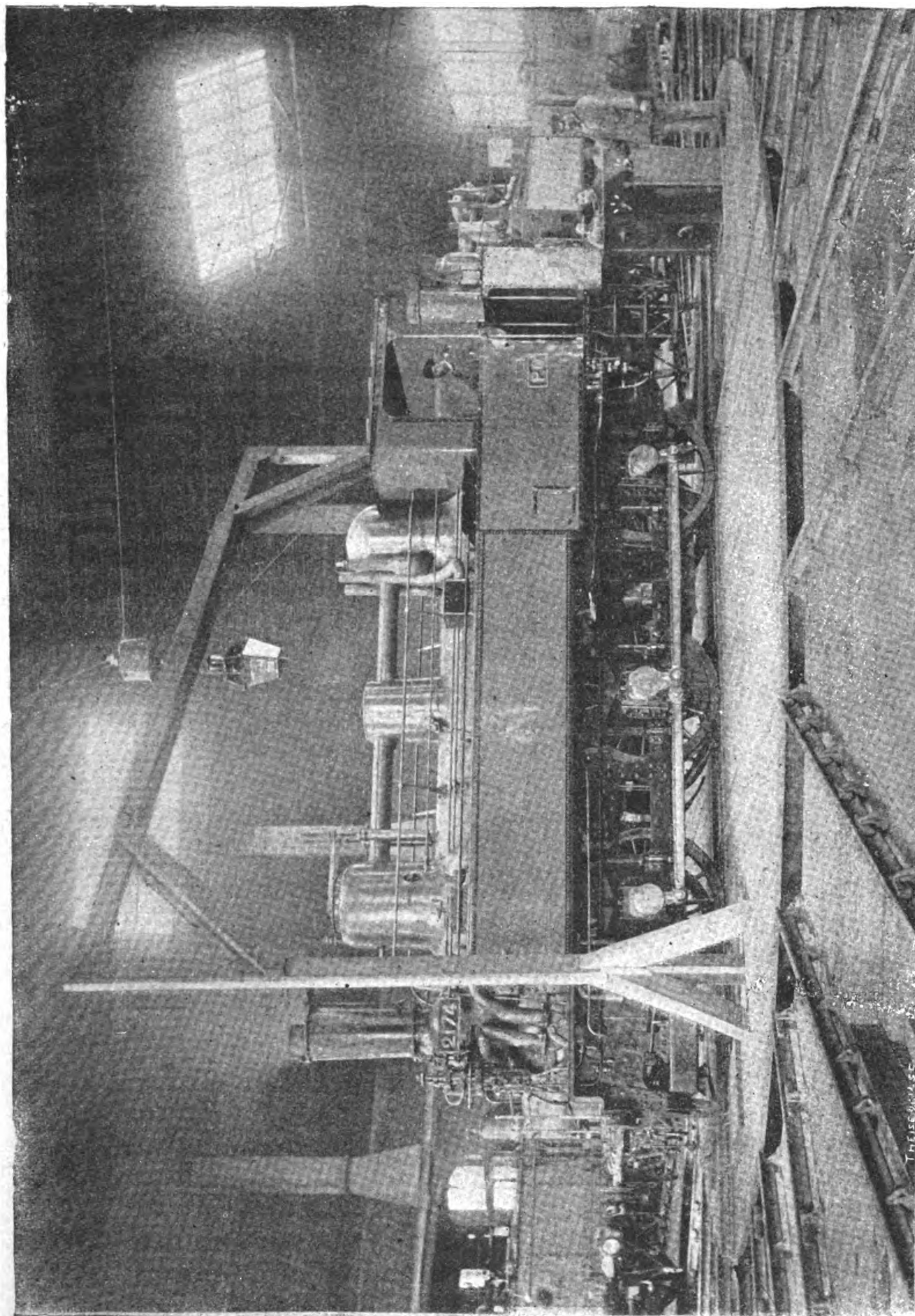


Fig. 8. — Pont tournant à commande électrique du dépôt de Montrouge.

souterrain comprise entre cette gare et la gare de Port-Royal, fonctionne d'une manière

continue. Comme nous l'avons dit précédemment, il reçoit le courant directement du réseau. Il peut tourner à la vitesse de 80 tours ; il est actionné, au moyen d'une courroie, par un électromoteur tournant à la vitesse de 260 tours environ par minute et capable de développer 15 chevaux.

Il peut débiter 50 mètres cubes par seconde.

La mise en marche de cet électromoteur, qui est excité en série, se fait au moyen d'un rhéostat à liquide commandé par la manette d'un commutateur placé sur le tableau de distribution.

Ce commutateur est disposé de façon à mettre en court circuit le rhéostat, lorsque les lames de cet appareil sont entièrement plongées dans l'eau.

Un système électromagnétique, monté sur l'appareil de mise en marche du ventilateur, a pour fonction d'éviter les emballements du moteur dans le cas où la courroie viendrait à sauter. A cet effet, il est disposé de telle façon que lorsque l'intensité du courant traversant l'induit du moteur s'abaisse au-dessous d'une certaine valeur, le rhéostat liquide de mise en marche est mis en dérivation sur l'induit du moteur. L'excitation du moteur est ainsi maintenue, tandis que l'induit est shunté. Le moteur tourne alors à une vitesse réduite.

Pompe. — L'installation électrique de la gare du Luxembourg comprend, en outre, une pompe remontant à l'égout les eaux de vidange de la fosse établie sous la gare. La pompe, du type centrifuge, est installée légèrement en contrebas de la fosse. Elle est commandée, au moyen d'une courroie, par un électromoteur placé au-dessus de la fosse, de manière à être plus facilement accessible et à l'abri de l'humidité. Cet électromoteur est alimenté directement par le courant du réseau.

L'appareil de commande (fig. 9) comprend un interrupteur à déclenchement électromagnétique, un relais de mise en court circuit automatique du rhéostat de démarrage et un système de contacts commandé par un flotteur.

Quand la fosse est pleine, le flotteur agit sur l'un des contacts qui met en activité une sonnerie.

On ferme alors l'interrupteur à déclenchement qui met l'électromoteur de la pompe en circuit à travers le rhéostat de démarrage. Dès que la vitesse atteint une valeur convenable, le relais met en court circuit cette résistance, et la pompe fonctionne normalement.

Aussitôt la fosse vidée, le flotteur agit sur le second contact qui envoie le courant dans les électros de l'interrupteur et en provoque le déclenchement.

Canalisations. — L'ensemble des canalisations desservant l'éclairage et les appareils de transmission de force est constitué par des câbles et fils en cuivre nu portés sur des isolateurs à double cloche sur toute l'étendue des souterrains.

Elles sont abritées par une gaine en bois fermée par des couvercles en bois faciles à démonter pour la visite.

Au passage des gares, les câbles sont fortement isolés au caoutchouc ; il sont, en outre, montés sur poulies isolantes en porcelaine.

On a profité de la surélévation des trottoirs et de leur disposition en saillie pour placer en dessous les canalisations principales ; elles sont ainsi très bien protégées et très aisées à surveiller.

Une série de coupe-circuit de sûreté protègent les diverses parties de la canalisation et permettent de la sectionner pour en vérifier l'isolation.

Exploitation. — Le service exigé des divers appareils que nous venons de décrire est très chargé, l'exploitation de la ligne ne comportant qu'une interruption de quatre heures, de 1 heure à 5 heures du matin. Pendant toute cette durée, l'éclairage des parties souterraines du réseau doit être assuré d'une manière continue. Pour répondre à cette condition, les lampes à arc sont d'un système que nous avons étudié spécialement pour les applications de ce genre ; elles donnent aisément

vingt heures d'éclairage sans changement de crayons.

En outre, les lampes sont munies d'un commutateur permettant de les mettre en court circuit, de telle sorte que, lors du changement des crayons d'une lampe, les trois autres,

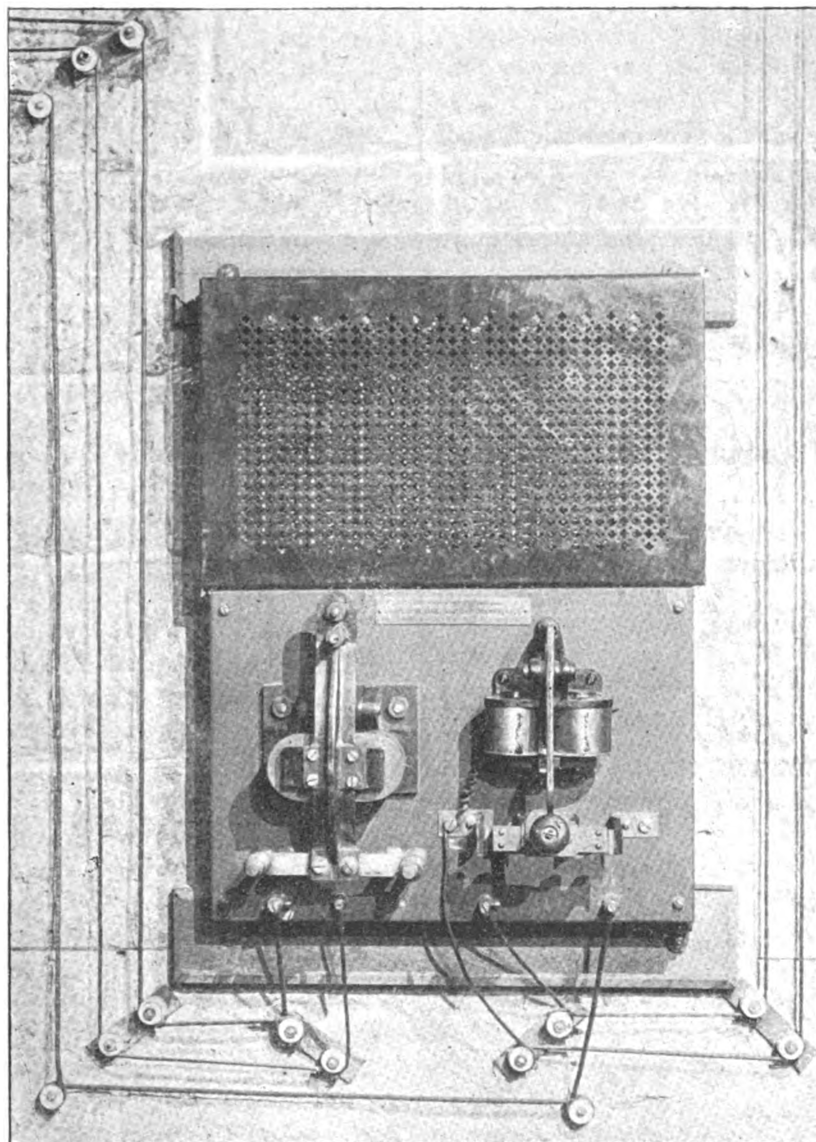


Fig. 9. — Appareil de commande de la pompe du Luxembourg.

montées en série avec elles continuent à fonctionner.

Les manœuvres des ascenseurs sont très répétées ; ils fonctionnent, en moyenne, 12 fois par heure.

Les plaques tournantes ont également un service très chargé ; l'une d'elles fait 80 manœuvres par jour.

La demi-rotation de la plaque chargée d'une locomotive de 50 tonnes s'effectue en moins de 30 secondes.

La rapidité de ces mouvements a une très

grande importance à la gare du Luxembourg, qui ne comporte que deux voies de garage en prolongement des voies principales.

L'allumage et l'extinction des lampes, ainsi que la manœuvre de tous les appareils actionnés électriquement, sont confiés aux agents ordinaires de l'exploitation. La présence continue d'un électricien est seulement nécessaire à l'usine, et encore cet électricien est-il remplacé, pendant les heures de repas, par le mécanicien. La conduite de l'installation, comme on le voit, est des plus aisées et le personnel très restreint.

La solution adoptée par la Compagnie répond donc bien, et d'une manière très simple, aux besoins particuliers et multiples de l'exploitation d'un réseau métropolitain.

L'emploi de courants continus à tension modérée offre, pour cette application, des avantages indiscutables, au point de vue de la sécurité du personnel, de la facilité d'emploi des électromoteurs et de l'utilisation de la lumière à arc et des accumulateurs.

En ce qui concerne les frais d'installation et d'exploitation, cette solution était également la plus avantageuse.

Ce sont ces motifs qui ont déterminé le choix de la Compagnie d'Orléans.

A. BOCHET,
Ingénieur des Arts et Manufactures.

ÉTUDE

D'UN MOTEUR ÉLECTRIQUE
A COURANTS DIPHASÉS
DU TYPE BROWN, DE CINQ CHEVAUX [1]

CALCUL DES ÉLÉMENTS DE FONCTIONNEMENT DU MOTEUR ET VÉRIFICATION EXPÉRIMENTALE

Réluctances du circuit magnétique du moteur. — Dans notre dernier article, nous avons établi les principales formules nécessaires pour nos calculs et nous y avons reconnu que pour les résoudre nous devions d'abord déterminer une courbe des réluctances du circuit magnétique en fonction du flux résultant. Notre travail sur le champ magnétique de la même machine nous a fourni cette courbe, établie par le calcul et par l'expérience.

Nous reproduisons ci-dessous ces résultats, graphiquement dans la figure 1 et numériquement dans le tableau I.

TABLEAU I

Flux utile Φ	=	0	$0{,}1 \times 10^6$	$0{,}25 \times 10^6$	$0{,}5 \times 10^6$	$0{,}75 \times 10^6$	1×10^6	$1{,}25 \times 10$
r calculées	=	$7{,}93 \times 10^{-4}$	6,22	5,18	4,5	4,24	4,17	4,19
r levées	=	$9{,}5 \times 10^{-4}$	8,00	6,2	5	4,45	4,16	4,1
Φr calculées	=	0	62,24	129	247	318	417,4	525
Φr levées	=	0	80,0	154,5	250	333	416	512
Flux utile Φ	=	$1{,}5 \times 10^6$	$1{,}75 \times 10^6$	2×10^6	$2{,}25 \times 10^6$	$2{,}5 \times 10^6$	$2{,}75 \times 10^6$	3×10^6
r calculées	=	4,27	4,41	4,67	5,06	5,79	7,46	13,25
r levées	=	4,16	4,5	5,1	5,9	7,3	9	11,2
Φr calculées	=	640	773	935	1,136	1,145	2,050	3,970
Φr levées	=	623	786	1,020	1,328	1,820	2,470	3,360

Les réluctances calculées correspondent aux courbes de perméabilité de Hopkinson, de Rowland et de Bidwel. Celles levées, lors de nos premières expériences sur le moteur, sont plutôt en rapport avec les courbes de perméabilité de Steinmetz. Nous nous servirons préférablement des valeurs expérimentales, en faisant remarquer que les résultats des calculs qui vont suivre seraient peu différents si nous employions les valeurs calculées de r, tout au moins pour les régimes pratiques du moteur.

[1] Voir l'*Éclairage Électrique* du 6 juillet, p. 5, et du 13 juillet, p. 58.

ÉVALUATION DES PERTES DE PUISSANCE.

Les pertes de puissance ont rapport à l'effet Joule, à l'hystérésis magnétique, aux courants de Foucault et aux frottements mécaniques.

EFFET JOULE

Circuits inducteurs. — Cette perte est, par circuit,

$$\frac{1}{2} \mathfrak{R} \mathfrak{J}^2.$$

Et, pour les deux circuits,

$$\mathfrak{R} \mathfrak{J}^2.$$

$\mathfrak{R}$ a été trouvée égale à 0,132 ohm à chaud.

On a donc :

$$p_1 = 0,132 \times 10^9 \times \mathfrak{J}^2. \qquad (20)$$

Circuits induits. — Pour m cadres, la puissance dépensée en échauffement est :

$$p_2 = \frac{m}{2} \mathrm{R} \mathrm{I}^2$$

Or, R calculé (voir *Éclairage Electrique*, n° 28) est de $2,2 \times 10^5$ à 55° et $\frac{m}{2} = 8$ on aurait donc :

$$p_2 = 8 \times 2,2 \times 10^5 \mathrm{I}^2 = 1,76 \times 10^6 \times \mathrm{I}^2.$$

Ici, nous sommes obligé d'anticiper relativement aux faits expérimentaux. Une seule grande discordance régnant entre les résultats des expériences et ceux du calcul, nous avons dû revenir en arrière et corriger une de nos données, la résistance R. Nous trouvions toujours en effet que la résistance de l'induit était trop faible pour les faits d'expériences, notamment pour les vitesses levées. C'est alors que nous avons pensé que le métal des barres pourrait bien être un alliage autre que celui des fils ordinaires des dynamos ou des lignes électriques : nous n'avions à cet égard aucun renseignement et les barres paraissent être, à vue, d'un alliage à forte proportion de cuivre.

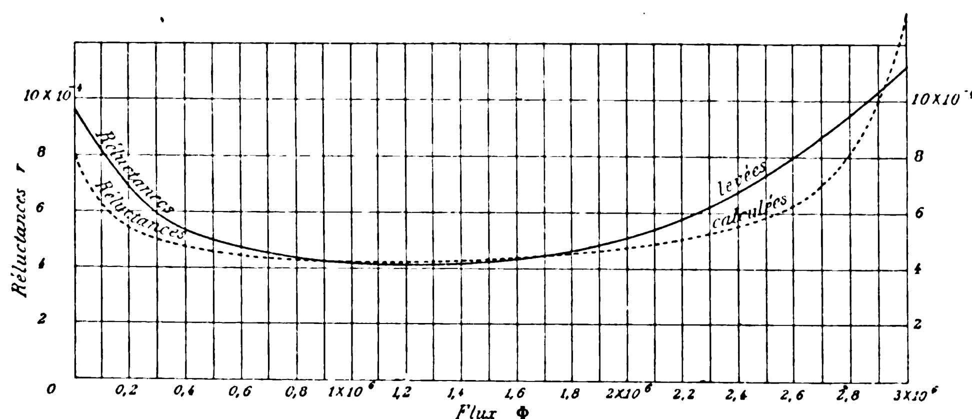


Fig. 1. — Réluctances du circuit magnétique du moteur.

En détachant l'une des extrémités de l'une des barres de la cage d'induit (cage d'écureuil) nous avons essayé de mesurer sa résistance au pont de Thomson. Cela nous a été impossible parce que la barre communiquait sur sa longueur, ainsi que d'autres barres, avec la masse de l'induit. Pour ne pas risquer de détériorer l'induit, nous n'avons pas essayé d'autre barre.

Nous avons alors mesuré la résistance combinée de toutes les barres, sans toucher à l'induit, et nous avons trouvé sensiblement 0,0000 175 ohm. Comme il y a 32 barres, cela fait, par barre et vers 18° C.

$$\mathrm{R} = 0,0000175 \times 32 = 0,00056 = 5,6 \times 10^{-4} \text{ ohm ou } 5,6 \times 10^5 \text{ C.G.S.}$$

Nous compterons sur cette résistance, mais il est évident que si, en expérimentant, le

moteur tarde à démarrer, ou s'il se cale par le serrage du frein, l'induit s'échauffe vite et R augmente.

La perte de puissance par échauffement de l'induit devient ainsi :

$$p_2 = 8 \times 5{,}6 \times 10^5 \times I^2 = 4{,}5 \times 10^6 \times I^2. \quad (21)$$

Pour rendre les calculs plus faciles nous avons parfois compté sur $5 \times 10^6 I^2$ dans le cours de notre travail.

HYSTÉRÉSIS

Soient :

v, le volume du fer de l'inducteur en centimètres cubes ;

V, le volume du fer de l'induit en centimètres cubes ;

$\frac{\Omega}{2\pi}$, la fréquence des courants inducteurs ou le nombre de renversements de l'aimantation de l'inducteur par seconde ;

$\frac{\Omega - \omega}{2\pi}$, la fréquence des courants induits ou le nombre de renversements de l'aimantation de l'induit par seconde ;

n la constante de Steinmetz ;

$\mathfrak{B}$, l'induction spécifique dans l'inducteur ;

B, l'induction spécifique dans l'induit.

$$v = \left[700{,}8 - 170{,}08 - (1 \times 1{,}5 \times 24)\right] = 8350 \text{ cm}^3$$

$$V = 175 \times 17 = 2970 \text{ cm}^3$$

$$\frac{\Omega}{2\pi} = 33{,}3$$

$n = 0{,}003$ à $0{,}0045$ pour les tôles. Adoptons $n = 0{,}004$.

Nous obtenons, en appliquant la formule de Steinmetz :

$$p_3 = v\, n.\, \frac{\Omega}{2\pi}.\, \mathfrak{B}^{1,6} + V n.\, \frac{\Omega - \omega}{2\pi}.\, B^{1,6}$$

$$p_3 = 1112 \mathfrak{B}^{1,6} + 1{,}89\,(\Omega - \omega)\, \mathfrak{B}^{1,6}\ldots\ldots \quad (22)$$

La figure 2 et le tableau II, qui suivent,

TABLEAU II

$\mathfrak{B}$ =	1,000	2,000	3,000	4,000	5,000	6,000	7,000	8,000	9,000	10,000	11,000	12,000	13,000	14,000	15,000
$\mathfrak{B}^{1,6}$ =	63,100	191	365	580	828	1,111	1,420	1,758	2,122	2,511	2,926	3,363	3,822	4,303	4,840,000

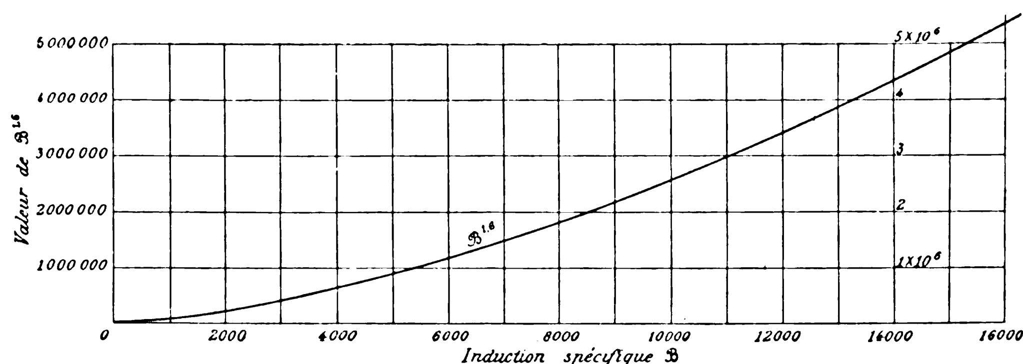


Fig. 2. — Valeurs des facteurs $\mathfrak{B}^{1,6}$ pour des inductions spécifiques variées.

donnent les valeurs de $\mathfrak{B}^{1,6}$ pour des inductions variées.

Quant aux valeurs de $\mathfrak{B}$ et B, elles sont données dans le tableau III et prises dans notre travail sur le champ magnétique, déjà cité.

TABLEAU III

Φ =	$0{,}1 \times 10^6$	$0{,}25 \times 10^6$	0,5	0,750	1,	1,250	1,500	1,75	2×10^6	2,250	2,500	2,750	3×10^6
B =	480	1,200	2,400	3,600	5,000	6,200	7,500	8,800	10,000	11,200	12,500	13,500	14,500
$\mathfrak{B}$ =	590	1,410	2,820	4,230	5,650	7,060	8,470	9,870	11,300	12,700	14,100	15,500	17,000

COURANTS DE FOUCAULT

On connaît la relation qui donne la perte par courants de Foucault :

$$p_4 = \frac{16(a\,\Omega\,\mathfrak{B}_{max})^2}{10^{12}}\,v \text{ watts.}$$

a est l'épaisseur des tôles du noyau ;
Ω, la fréquence des courants inducteurs;
$\mathfrak{B}_{max}$, l'induction spécifique maxima ;
v, le volume de l'inducteur en centimètres cubes.

On a :

$$p_4 = \frac{16(0{,}05 \times 33{,}3 \times \mathfrak{B}_{max})^2}{10^{12}}\,8350$$
$$= 3{,}63 \times 10^{-7}\mathfrak{B}^2_{max} \text{ watts.} \qquad (23)$$

Nous ne tiendrons pas compte de l'induit ni des fils de circuits; nous forcerons un peu la perte dans l'inducteur pour en tenir compte.

FROTTEMENTS MÉCANIQUES DANS LES PALIERS

Considérons le moteur chargé d'un frein de Prony, la détermination du rendement devant se faire plus tard à l'aide de cet appareil.

L'induit et l'arbre pèsent 25, 5 kgr. ;

La poulie de frein et le frein 17,5 kgr. La charge totale sur les paliers est donc de 43 kgr.

D'après des expériences que nous avons faites antérieurement sur le frottement des arbres de transmissions graissés dans les mêmes conditions, c'est-à-dire sans bagues, par simple trou de huilage avec graisseur à aiguille ou autre et pour des vitesses à peu près les mêmes, nous pouvons admettre pour coefficient de frottement la valeur :

$$f = 0{,}07 \text{ à } 0{,}1.$$

Comme nous nous proposons de soigner le graissage pendant nos expériences de vérification, nous pouvons admettre que f sera un minimum et écrire pour perte de puissance par frottements mécaniques :

$$p_5 = 43^{k.} \times 0{,}07 \times \pi d n \times 9{,}81 \times 10^7 \text{C.G.S.}$$

d est le diamètre des tourillons en mètres et n le nombre de tours par seconde. Pour $d = 0{,}025$,

$$p_5 = 2{,}32 \times 10^7 \times n. \qquad (24)$$

EXAMEN DU FONCTIONNEMENT DU MOTEUR SOUS COURANT CONSTANT D'ALIMENTATION DE 45 AMPÈRES MAXIMUM, 31,8 AMPÈRES EFFICACES

Maintenant que nous possédons les formules simplifiées applicables à la machine, il nous est facile de les appliquer pour le cas où le courant d'alimentation est invariable. Nous indiquerons en quelques mots la marche suivie, puis nous tracerons un tableau complet de tous les résultats obtenus. Nous croyons que cette manière de faire apportera assez de clarté et en même temps assez de concision dans notre travail.

MARCHE SUIVIE

Nous nous donnerons des flux variés, de 250 000 à 2 500 000 unités C. G. S., par exemple. La formule

$$\cos\varphi = \frac{\Phi r}{412{,}6\mathfrak{I}} \qquad (1)$$

nous donnera les décalages des courants d'induit ou du flux résultant sur le flux fictif inducteur ;

$$I = 4{,}1\mathfrak{I} \sin.\varphi \qquad (5)$$

nous fournira les courants induits ;

$$(\Omega - \omega) = \frac{RI}{\Phi} = \frac{5{,}6 \times 10^5 I}{\Phi} \qquad (15)$$

permettra de calculer les retards de l'induit, c'est-à-dire ses vitesses angulaires relatives par rapport au flux résultant ;

$$\mathcal{C} = 81\Phi = \frac{8(\Omega - \omega)\Phi^2}{R} \qquad (18 \text{ et } 19$$

amènera la connaissance des couples bruts appliqués à la périphérie de l'induit ;

$$\mathcal{E}^2 = (1{,}32 \times 10^8\mathfrak{I} + 6950\Phi \sin\varphi)^2 + (6950\Phi \cos\varphi)^2 \quad (11)$$

déterminera les forces électromotrices fournies aux bornes ;

$$\cos\theta = \frac{1{,}32 \times 10^8\mathfrak{I} + 6950\,\Phi \sin\varphi}{\mathcal{E}} \qquad (9)$$

fera connaître les angles θ de décalage des courants inducteurs sur les f.é.m. appliquées $\mathcal{E}$ correspondantes ;

$$P_t = 2\ 1/2\mathcal{E}\mathfrak{I}\cos\theta = \mathcal{E}\mathfrak{I}\cos\theta \qquad (25)$$

fixera les puissances dépensées aux bornes

TABLEAU IV

MOTEUR A COURANTS DIPHASÉS. — ALIMENTATION SOUS COURANT CONSTANT DE 45 AMPÈRES MAXIMUM, 31,8 AMPÈRES EFFICACES

Φ	r	Φr	$\cos\varphi$	$\sin\varphi$	φ	$\mathfrak{J}$	I	Ω	$\Omega-\omega$	ω	RENDEMENT de l'induit. $\frac{\omega}{\Omega}$	VITESSE de l'induit. Tours par seconde.	Tours par minute.	COUPLE BRUT C	$6950\,\Phi$	$\mathfrak{R}\mathfrak{J}$	$\mathcal{E}$
$\cos\varphi = \frac{\Phi r}{412,6\,\mathfrak{J}}$						$I = \mathfrak{J}\sin\varphi \times 4,1$		$\Omega-\omega = 5,6\times 10^5 \times \frac{1}{\Phi}$				$n = \frac{\omega}{2\pi}$		$C = 81\,\Phi$	$\mathcal{E}^2 = (\mathfrak{R}\mathfrak{J} + 6950\,\Phi\sin\varphi)^2 + (6950\,\Phi\cos\varphi)^2$		
47 150	$8,8 + 10^{-4}$	41,5	0,0224	0,9997	88°43′	4,5 C. G. S.	18,45	209,1	209,1	0	0	0	0	$0,694 \times 10^7$	$3,27 \times 10^8$	$5,92 \times 10^8$	$9,2 \times 10^8$
250 000	6,2	154,5	0,0835	0,9965	85°13′	—	18,3	—	41	168,1	0,803	26,8	1 604	3,65	17,3	—	23
500 000	5,0	250	0,135	0,991	82°15′	—	18,25	—	20,4	188,7	0,90	30,0	1 800	7,27	34,5	—	40,2
750 000	4,45	333	0,180	0,984	79°40′	—	18,15	—	13,56	195,5	0,932	31,1	1 867	10,52	52	—	57,2
1 000 000	4,16	416	0,225	0,974	77°	—	17,94	—	10,05	199	0,95	31,65	1 900	14,35	69,5	—	74,4
1 250 000	4,1	512	0,277	0,961	73°55′	—	17,7	—	7,83	201,3	0,96	32	1 913	17,7	87	—	91,4
1 500 000	4,16	623	0,337	0,942	70°20′	—	17,38	—	6,48	202,6	0,969	32,3	1 939	22,5	104	—	108,3
1 750 000	4,5	786	0,426	0,905	64°45′	—	16,65	—	5,31	203,8	0,974	32,5	1 945	23,2	121,4	—	125,4
2 000 000	5,1	1020	0,552	0,834	56°30′	—	15,38	—	4,3	204,8	0,98	32,65	1 956	24,55	139	—	142,3
2 200 000	5,7	1252	0,68	0,733	47°10′	—	13,5	—	3,42	205,7	0,982	32,8	1 964	23,7	152,6	—	155,3
2 400 000	6,7	1608	0,87	0,493	29°32′	—	9,08	—	2,12	207,0	0,989	33	1 975	17,4	166,5	—	169,2
2 500 000	7,3	1820	0,986	0,167	9°36′	—	3,08	—	0,69	208,4	0,995	33,2	1 988	6,05	173,2	—	174,2
2 510 000	7,4	1850	0,994	0,1125	6°27′	—	2,07	—	0,46	208,64	0,998	33,25	1 996	4,11	173,4	—	174

ALIMENTATION SOUS COURANT CONSTANT DE 62,3 AMPÈRES MAXIMUM, 45 AMPÈRES EFFICACES

Φ	r	Φr	$\cos\varphi$	$\sin\varphi$	φ	$\mathfrak{J}$	I	Ω	$\Omega-\omega$	ω	$\frac{\omega}{\Omega}$	Tours par seconde	Tours par minute	C	$6950\,\Phi$	$\mathfrak{R}\mathfrak{J}$	$\mathcal{E}$
76 000 à 105 000	»	»	»	»	»	6,92	»	209,1	209,1	»	0	0	0	1,72 à $2,38 \times 10^7$	»	»	»
1 100 000	4,1	451	0,176	0,984	79°52′	6,23	25,1	—	12,75	196,4	0,937	31,3	1 880	22	76,5	8,25	84,3
1 200 000	4,1	492	0,192	0,981	78°56′	—	25,0	—	11,64	197,5	0,942	31,4	1 890	23,9	83,5	—	91,5
1 300 000	4,1	533	0,208	0,978	78°	—	24,9	—	10,7	198,4	0,95	31,6	1 900	25,8	90,5	—	98,2

Tableau IV (*Suite*).

MOTEURS A COURANTS DIPHASÉS. — ALIMENTATION SOUS COURANT CONSTANT DE 45 AMPÈRES MAXIMUM, 31,8 AMPÈRES EFFICACES

cos θ	θ	90° — φ	Puissance totale fournie P_t	Pertes de puissance — Effet Joule — Inducteur.	Effet Joule — Induit.	Effets d'hystérésis — 𝔅	Effets d'hystérésis — B	Effets d'hystérésis — p_3	Courants de Foucault.	Frottements mécaniques.	Totales.	Sur l'arbre de l'induit — Puissance utile P_u watts	Puissance utile P_u ch	Rendement total	Couple effectif.	Puissance électrique effective fournie à la machine.	Rendement électrique.	Observations.
$= \frac{\cos\theta}{\mathcal{R}\mathcal{I} + 6950\Phi \sin\varphi}{\mathcal{E}}$			$P_t = \mathcal{E}\mathcal{I}\cos\theta$	$p_1 = 1,32 \times 10^8 \mathcal{I}^2$	$p_2 = 5 \times 10^6 I^2$	$p_3 = 1112\,\mathfrak{B}^{1,6} + 1,89\,(\Omega - \omega)\,B^{1,6}$			$p_4 = 3,63 \times 10^{-7} B^2$	$p_5 = 2,32 \times 10^7 n$				$\frac{P_u}{P_t}$	$P_u : \omega$	$P_e = \mathcal{E}\mathcal{I}\cos\theta - \mathcal{R}\mathcal{I}^2 - \frac{m}{2} RI^2$	$\frac{P_e}{P_t}$	
0,9997	1°10′	1°13′	414×10⁷	»	»	»	»	»	»	»	»	0	0	0	»	»	0	Démarrage.
0,9965	4°47′	4°47′	1 028	267×10⁷	167×10⁷	1 410	1 200	12 × 10⁷	0,5×10⁷	72 × 10⁷	518,5	509,5	0,69	0,495	3,03 × 10⁷	594×10⁷	0,577	Les calculs sont exécutés à la règle.
0,991	7°45′	7°45′	1 783	—	167	2 820	2 400	37	2	74	547	1236,0	1,68	0,691	6,56	1 349	0,755	
0,984	10°20′	10°20′	2 535	—	164	4 230	3 600	71	4,7	75,1	583,4	1952,6	2,65	0,77	10	2 104	0,83	
0,974	13°	13°30′	3 270	—	160	5 650	5 000	113	9,1	76	625,1	2644,9	3,6	0,813	13,3	2 843	0,87	
0,966	15°	16°5′	3 980	—	156	7 060	6 200	161	13,9	76	673,9	3 306,1	4,5	0,833	16,5	3 557	0,896	
0,948	18°33′	19°40′	4 620	—	151,5	8 470	7 500	214	20,2	76	728,7	3 891,3	5,3	0,846	19,2	4 201,5	0,913	
0,915	23°47′	25°15′	5 150	—	139	9 870	8 800	274	28	76,2	784,2	4 365,8	5,93	0,85	21,35	4 744	0,925	
0,846	32°13′	33°30′	5 410	—	119	11 300	10 000	339	36,3	76,5	837,8	4 572,2	6,2	0,848	22,3	5 024	0,93	
0,75	41°25′	42°50′	5 230	—	91	12 700	11 200	369	42	76,6	845,6	4 384,4	5,95	0,839	21,35	4 872	0,931	
0,507	59°30′	60°28′	3 850	—	41	13 500	12 000	401	53,5	77	838,0	3 012,0	4,1	0,78	14,6	3 542	0,921	
0,197	78°36′	80°24′	1 532	—	4,75	14 100	12 500	481	57	77	886	646,0	0,88	0,42	3,1	1 260,25	0,822	
0,1125	83°33′	»	884	—	2	14 100	12 500	481	57	77	884	0	0	0	0	515	0,585	Marche à vide.
ALIMENTATIONS SOUS COURANT CONSTANT DE 62,3 AMPÈRES MAXIMUM, 45 AMPÈRES EFFICACES																		
»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	0	»	0	»	»	«	Démarrage sous 69,2 A.
0,988	8°51′	10°8′	5 180	512	312	6 220	5 500	132	14	72,5	1042,5	4 137,5	5,62	0,80	21,1 × 10⁷	»	»	
0,984	10°15′	11°4′	5 600	—	311	6 800	6 000	151	16,8	72,7	1064,5	4 535,5	6,18	0,812	22,9	»	»	
0,982	10°44′	12°	6 000	—	311	7 350	6 500	170	19,6	73,2	1085,8	4 914,2	6,68	0,822	24,6	»	»	

du moteur; enfin, l'application des formules (20) à (24) donnera les diverses pertes de puissance.

Quant au couple effectif, il sera déterminé par le quotient de la puissance utile — égale à $\mathcal{E}\mathfrak{J}\cos\theta$ moins les pertes de puissance — par la vitesse angulaire de l'induit.

Le rapport $\frac{\omega}{\Omega}$ que nous indiquons au tableau IV est le rendement de l'induit, c'est-à-dire le rapport de la puissance appliquée à l'induit et qui le fait tourner (ωC) à la puissance totale qui y est développée

$$\omega\mathfrak{C} + \frac{m}{2}\,\mathrm{RI}^2 \text{ ou } \Omega\mathfrak{C}.$$

L'avant-dernière colonne du même tableau donne la puissance électrique P_e disponible au moteur et égale à la puissance brute dépensée moins les pertes par effet Joule et enfin la dernière fournit le rendement électrique, rapport de P_e à P_t.

Couple au démarrage. — La première ligne du tableau, qui donne le couple au démarrage lorsque l'induit est retenu par une résistance ou calé, se calcule comme suit :

Le retard de l'induit est maximum puisque $\omega = 0$ et l'on a

$$\Omega - \omega = \Omega - 0 = 209{,}1\,;$$

La formule (15) devient ainsi

$$5{,}6 \times 10^3 \mathrm{I} = 209{,}1 \times \Phi.$$

On voit au tableau, que pour un retard de 41, φ est égal à 85°13′. Nous pouvons donc admettre que, pour le démarrage, φ est très voisin de 90°. Dans ces conditions

$$\mathrm{I} = 4{,}1\mathfrak{J} \sin 90^\circ = 18{,}45 \text{ C.G.S.}$$

La formule (15) donne alors

$$\Phi = \frac{5{,}6 \times 10^3 \times 18{,}45}{209{,}1} = 47150.$$

Le couple au démarrage est donc

$$\mathfrak{C} = 8\mathrm{I}\Phi = 8 \times 18{,}45 + 47150 = 0{,}694 \times 10^7.$$

La suite des calculs fournit sensiblement :

$$\cos\varphi = \frac{47150 \times 8{,}8 \times 10^{-4}}{412{,}6 \times 4{,}5} = 0{,}0224\,;$$

$$\varphi = 88^\circ 43'\,;$$

$$\mathrm{P}\mathcal{E} = \mathfrak{R}\mathfrak{J} + 6950\,\Phi = 9{,}2 \text{ volts}\,;$$

$$\mathrm{P}_t = \mathcal{E}\mathfrak{J} \cos 0^\circ = 414 \times 10^7 \text{ (watts.}$$

Marche à vide. — La marche à vide a été déterminée de la façon suivante :

En supposant φ égal à 0° nous avons calculé Φ par la formule (1). La connaissance de Φ et de la vitesse (sensiblement 2 000 tours) nous a permis de calculer les pertes de puissance. Appliquant alors la formule

$$\mathrm{P}_t = \mathcal{E}\mathfrak{J}\cos\theta = 884 = \text{pertes de puissance,}$$

dans laquelle $\mathfrak{J} = 4{,}5$ et $\mathcal{E} = 174$, nous avons pu déterminer θ. Quant au décalage φ et aux valeurs qui en dérivent (telle que I) nous les avons obtenus en partant de la relation très approximative pour le cas présent :

$$\varphi = 90^\circ - \theta.$$

RÉSULTATS

Les résultats sont représentés graphiquement par les diagrammes de la figure 3. Disons un mot de chacune des séries de valeurs.

Courants. — Les courants inducteurs sont constants et égaux à 45 ampères. Les courants induits sont variables et ils oscillent entre un maximum de 184,5 A. au démarrage et une valeur nulle au synchronisme (20,7 ampères à vide).

Flux résultant. — Minimum au démarrage et égal à 47,150 C.G.S., il est maximum au synchronisme et vaut 2 500 000 environ. Pour la puissance et le couple maximum il est de 2 000 000 avec une induction maxima de 11 300; pour cinq chevaux utiles, puissance normale, il est de 1 370 000 avec une induction maxima de 7 700, ce qui est un peu exagéré en pratique.

Forces électromotrices. — La f.é.m. appliquée au moteur varie sensiblement comme le flux résultant, et de 9,2 à 174 volts ($\mathcal{E}_{max.}$). Le

voltage dont nous disposons à la génératrice étant de 70 volts efficaces environ (90 v. max.) c'est dans la branche montante de la courbe de la puissance, avant le coude, en venant du démarrage, que nous trouverons nos régimes de marche. C'est du reste la branche du régime le plus stable.

Décalages des courants sur les forces électromotrices. — On voit que les décalages θ et φ varient en sens inverse.

Alors que le décalage du courant inducteur est nul au démarrage, le décalage du courant induit est presque de 90°, ce qui donne aux flux résultant un retard de près de 90° sur le flux inducteur fictif.

Au synchronisme, c'est l'inverse qui a lieu : la self-induction de l'induit est sensiblement nulle et φ est également faible tandis que θ est maximum.

Puissances et couples. — Le couple et la puissance passent par un maximum qui se produit pour la même vitesse de l'induit. La puissance utile maxima est de 6,25 chevaux ou de 4 600 wats.

Rendements. — Quant au rendement, il a aussi un maximum correspondant à peu près

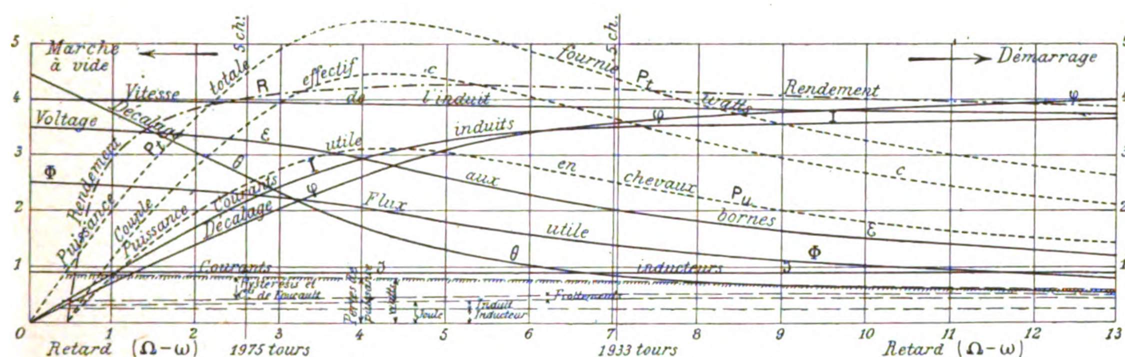


Fig. 3. — Alimentation du moteur sous courant constant de 45 ampères maximum.

aux conditions de puissance et de couple maxima.

ALIMENTATION SOUS COURANT CONSTANT DE 62,3 AMPÈRES MAXIMUM, 44 AMPÈRES EFFICACES

Le tableau IV ci-dessus donne les résultats du fonctionnement sous 62,3 A. pour des flux variant de 1 100 000 à 1 300 000 unités C.G.S. Ces flux correspondent à trois régimes pour lesquels nous avons relevé les rendements du moteur.

Nous avons indiqué également dans ce tableau le démarrage sous 69,2 ampères maxima parce que nous en avons déterminé le couple par expérience.

Couple au démarrage sous 69,2 ampères maxima, 49 ampères efficaces. — En opérant comme il a été indiqué ci-dessus pour 45 ampères nous trouvons :

$$I = 4{,}1\mathfrak{I} \sin 90^\circ = 28{,}3 \text{ C.G.S.}$$

$$\Phi = \frac{5{,}6 \times 10^5 \times I}{209{,}1}\, 76\,000.$$

$$\mathcal{C} = 8I\Phi = 8 \times 28{,}3 \times 76\,000 = 1{,}72 \times 10^7.$$

ou, en mètre-kilogramme,

$$\mathcal{C} = \frac{1{,}72}{9{,}81} = 0{,}176 \text{ m.kgr.}$$

Ce couple correspond à une force P, appliquée à la circonférence de la poulie (qui a 8 cm. de rayon) et qui est facile à calculer.

$$P = \frac{0{,}176}{0{,}08} = 2{,}2 \text{ kgr.}$$

Au bout de quelques instants, si le démarrage tarde, l'induit chauffe fortement; et si nous

admettons que la température des barres atteint 100°, la résistance d'un cadre devient

$$5,6 \times 10^{3} \times 1,38 = 7,75 \times 10^{3} \text{ environ,}$$

et les autres valeurs sont :

$$\Phi = \frac{7,75 \times 10^{3} \times 28,3}{209,1} = 105\,000.$$

$$\mathcal{C} = 81\Phi = 8 \times 28,3 \times 105\,000 = 2,38 \times 10^{7}.$$

$$P = \frac{2,38}{9,81 \times 0,08} = 3,04 \text{ kgr.}$$

Les résultats de ces derniers calculs sont traduits à la figure 4.

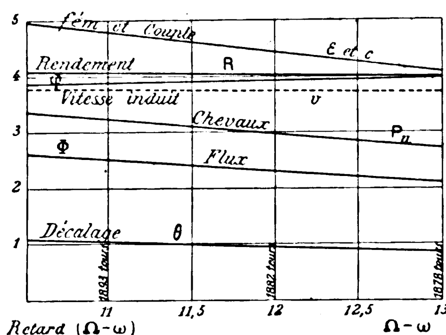


Fig. 4. — Alimentation du moteur sous courant de 62,3 ampères.

EXAMEN DU FONCTIONNEMENT DU MOTEUR SOUS POTENTIEL CONSTANT D'ALIMENTATION DE 92 VOLTS MAXIMA, 62 VOLTS EFFICACES.

Maintenant que nous connaissons les courbes des variations de valeur des différents éléments de fonctionnement du moteur marchant sous courant constant, nous allons déterminer les mêmes courbes pour la marche à potentiel invariable.

Comme nous désirons connaître seulement la forme de ces courbes, nous ferons les calculs avec un peu moins d'approximation que les précédents. Comme nous le verrons plus tard, il serait toujours facile de déterminer très exactement les points de ces courbes correspondant à un régime intéressant.

S'il n'y avait pas de f.é.m. perdue dans les inducteurs par échauffement des fils, nous aurions, d'après une formule connue :

$$\mathcal{E} = 6950\ \Phi.$$

Nous admettons que cette relation est exacte, c'est-à-dire que le flux est constant lorsque l'on marche à potentiel invariable, sous 92 volts.

$$\Phi = \frac{92 \times 10^{8}}{6950} = 1,325 \times 10^{6}.$$

La réluctance correspondante est $4,12 \times 10^{-4}$.

Pour la suite des calculs, nous nous donnerons des angles φ variés et la formule (1) nous fournira les valeurs du courant d'alimentation $\mathcal{I}$.

$$\mathcal{I} = \frac{\Phi r}{412,6 \cos \varphi}.$$

Nous prendrons pour décalages du courant $\mathcal{I}$ les valeurs fournies par la relation approximative

$$\theta = 90° - \varphi.$$

Les formules indiquées au tableau V ci-dessous montrent la suite des opérations effectuées.

Pour tenir compte dans certaine limite de la perte ohmique $\mathcal{R}\mathcal{I}$ dans l'inducteur, et pour pouvoir tracer des courbes un peu exactes, nous indiquons deux points supplémentaires aux dernières lignes du tableau. Le premier point, sous 91,4 volts, est emprunté au tableau calculé sous $\mathcal{I}$ constant. Quant au second, il correspond à un décalage très petit (θ) des courants inducteurs et il est obtenu par l'application de la formule.

$$\mathcal{E} = \mathcal{R}\mathcal{I} + 6950\ \Phi.$$

RÉSULTATS

Nous avons tracé à la figure 5 les courbes des nombres obtenus au moyen des calculs que nous venons d'indiquer. Ces nombres sont renseignés au tableau ci-dessus. Disons un mot de ces courbes en faisant remarquer que la ligne mixte du flux Φ représente la correction faite en ayant égard à la perte ohmique $\mathcal{R}\mathcal{I}$ dans le fil inducteur.

Courants. — Pour des retards relativement faibles de l'induit, les courants atteignent vite des valeurs insupportables. Pour 1 875 tours à l'induit ($\Omega - \omega = 12,9$) correspondant à 7,28 chevaux utiles, les courants inducteurs et in-

TABLEAU V. — MOTEUR A COURANTS DIPHASÉS. ALIMENTATION SANS POTENTIEL CONSTANT DE 92 VOLTS MAXIMUM, 65 VOLTS EFFICACES

Φ	r	Φr	$\cos\varphi$	$\sin\varphi$	φ	$\mathfrak{J}$	I	Ω	$\Omega-\omega$	ω	$\frac{\omega}{\Omega}$	Vitesse de l'induit: tours par seconde	Vitesse de l'induit: tours par minute	Couple brut C	6950 Φ	$\mathfrak{R}\mathfrak{J}$	$\mathcal{E}$	$\cos\theta$	θ	$90^\circ-\varphi$
$\Phi=\frac{\mathcal{E}}{6950}$						$\mathfrak{J}=\frac{\Phi r}{412{,}6\cos\varphi}$	$I=4{,}1\,\mathfrak{J}\sin\varphi$	$\Omega-\omega=5{,}6\times10^3\times\frac{I}{\Phi}$				$n=\frac{\omega}{2\pi}$		$C=81\Phi$				$\theta=90^\circ-\varphi$		
$1{,}325\times10^6$	$4{,}12\times10^{-4}$	545	0,985	0,174	10°	1,35	0,96	209,1	0,406	208,7	0,995	33,2	1 995	$\times10^7$ 1,015	»	»	92	0,174	80°	80°
—	—	—	0,766	0,643	40	1,73	4,55	—	1,92	208,2	0,992	33,1	1 986	4,8	»	»	—	0,643	50°	50°
—	—	—	0,500	0,866	60	2,65	9,35	—	3,81	205,3	0,972	32,8	1 965	9,86	»	»	—	0,866	30°	30°
—	—	—	0,174	0,985	80	7,6	30,6	—	12,9	196,2	0,938	31,25	1 875	32	»	»	—	0,985	10°	10°
—	—	—	0,139	0,99	82	9,52	38,6	—	16,2	192,9	0,922	30,7	1 845	40,8	»	»	—	0,99	8°	8°
—	—	—	0,087	0,996	85	15,1	62,0	—	26,2	182,9	0,875	29,2	1 750	65,5	»	»	—	0,996	5°	5°
$1{,}25\times10^6$	4,1	512	0,277	0,961	73°55′	4,5	17,7	—	7,83	201,3	0,96	32,0	1 913	17,7	87	5,92	91,4	0,966	15°	16°5′
$1{,}085\times10^6$	4,16	453	0,087	0,996	85°	12,5	51	—	21,6	187,5	0,942	29,9	1 790	54	»	16,5	92	0,9945	6°	5°

Puissance totale fournie P_t	Pertes de puissance — Effet Joule: Inducteur	Effet Joule: Induit	Effet d'hystérésis: $\mathfrak{B}$	Effet d'hystérésis: B	Effet d'hystérésis: p_3	Courants de Foucault	Frottements mécaniques	Totales	Sur l'arbre de l'induit — puissance utile P_u (watts)	puissance utile P_u (chx)	Rendement total	Couple effectif	Puissance électrique effective fournie à la machine	Rendement électrique	Observations
$P_t=\mathcal{E}\mathfrak{J}\cos\theta$	$p_1=1{,}32\times10^8\,\mathfrak{J}^2$	$p_2=5\times10^6\,I^2$	$p_3=1\,112\,\mathfrak{B}^{1,6}+1{,}89\,(\Omega-\omega)\,B^{1,6}$			$p_4=3{,}63\times10^{-7}\,B^2$	$p_5=2{,}32\times10^7\,n$				$\frac{P_u}{P_t}$	$\frac{P_u}{\omega}$			
216×10^7	$24{,}1\times10^7$	$4{,}5\times10^7$	7500	6620	$175{,}5\times10^7$	$20{,}4\times10^7$	77×10^7	$\times10^7$ 301,5	»	»	»	»	»	»	Les calculs sont effectués à la règle
1 024	39,5	10,3	—	—	175,6	20,4	77	322,8	701,2	0,95	0,684	$3{,}36\times10^7$	»	»	
2 110	93	48,7	—	—	176	20,4	76,5	414,6	1 695,4	2,31	0,806	8,23	»	»	
6 860	760	468	—	—	176,7	20,4	75,2	1 500,3	5 359,7	7,28	0,782	27,3	»	»	
8 650	1 190	740	—	—	177,1	20,4	75	2 202,5	6 447,5	8,78	0,748	33,4	»	»	
13 760	3 020	1 920	—	—	178,1	20,4	73,3	5 211,8	8 548,2	11,6	0,62	46,7	»	»	
3 980	267	156	7000	6200	161	13,9	76	673,9	3 306,1	4,5	0,833	16,5	3 557	0,896	
11 580	»	«	»	»	»	»	»	»	«	»	»	»	»	»	

duits maxima sont respectivement de 76 et 306 ampères.

Flux. — Le flux diminue assez lentement avec le retard $\Omega - \omega$.

Décalages des courants. — Ils varient sensiblement comme dans le cas de l'alimentation du moteur sous courant constant.

Puissances et couples. — Ces valeurs augmentent vite comme celles des courants et elles n'ont pas de maximum, comme dans le cas d'alimentation sous courant invariable.

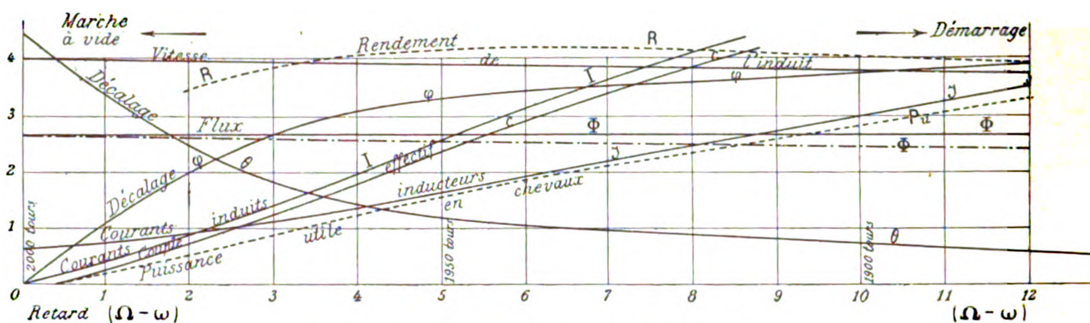


Fig. 5. — Alimentation sous potentiel constant.

Rendements. — Le rendement passe par un maximum. Ce maximum correspond avec celui du régime précédemment examiné.

(*A suivre.*) S. HANAPPE.

LES LAMPES A INCANDESCENCE

Le soufflage du verre à l'air comprimé se répand de plus en plus, pour la fabrication des lampes à incandescence aussi bien que dans un grand nombre d'autres applications, et, comme corollaire, l'actionnement, par ce même air comprimé, des chalumeaux à gaz nécessaire au travail de ces lampes.

Dans le dispositif de *Burnett* et *Doane* les chalumeaux sont (fig. 1 et 2) constitués par des tubes en T, indiqués en BB figure 2 groupés trois par trois de manière à faire converger leur six flammes au droit d'un tasseau de terre réfractaire N. Ces becs sont alimentées de gaz par les tuyaux B′, à robinets *b*, et d'air soufflé par les tuyaux C′, à robinets *c*, conjugués de manière à être manœuvrés simultanément par une même pédale E. Quand on abaisse cette pédale, on ouvre tous les robinets d'air et du gaz, qui vient s'allumer aux becs-veilleuses B_1, et l'on remonte le tasseau N, près du point de croisement des flammes, de manière qu'il vienne, par son rayonnement, concentrer la chaleur de ces flammes. Quand on lâche la pédale, des ressorts de rappel ferment tous les robinets sauf ceux des veilleuses, et ouvrent celui du jet d'air auxiliaire D, destiné à refroidir rapidement la lampe. C'est un groupement simple et bien à portée de l'ouvrier.

On a souvent essayé de pourvoir les lampes à incandescence de *réflecteurs* destinés à en distribuer plus favorablement la lumière, mais en général sans succès, en raison de la complication, de la laideur et du peu d'utilité de ces objets. Nous citerons néanmoins deux tentatives récentes de MM. Ford et Turnbull.

Le réflecteur argenté A de M. *Ford* est (fig. 3 à 5) placé au bas de la lampe, et renferme le filament plus ou moins développé C, dont la lumière se trouve ainsi diffusée ou concentrée suivant la forme du réflecteur. La solution de M. *Turnbull* est (fig. 6 à 10) plus compliquée. La lampe est en deux parties : le globe 1 et le tube 4, rodé dans les collets 2 et 3, où il est em-

manché à chaud, puis scellé par des garnitures de cire 6 6. Ce tube reçoit les attaches de pla-

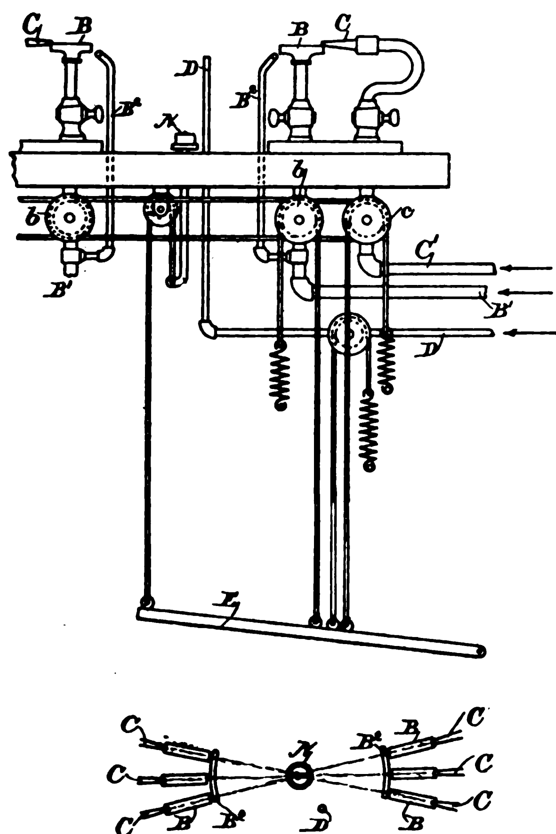


Fig. 1 et 2. — Soufflage du verre Burnett et Doane.

tine 15 15 des filaments 12, et un réflecteur tubulaire argenté, retenu par les ressorts 10, 10,

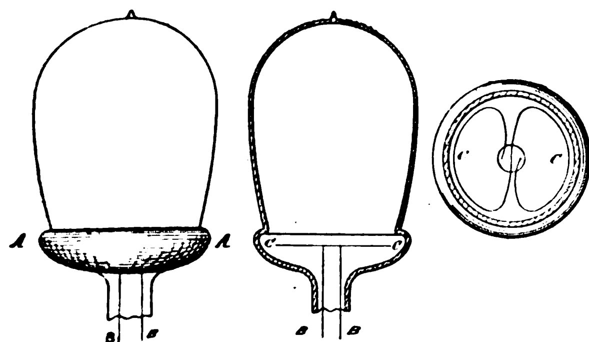


Fig. 3 à 5. — Réflecteur Ford.

avec attache des conducteurs 13 14, en 16, 8, 17 et 7. La durée du joint à la cire 6 peut inspirer quelques doutes, et il n'y a pas de raison pour que ce réflecteur tubulaire réussisse mieux que ses nombreux prédécesseurs.

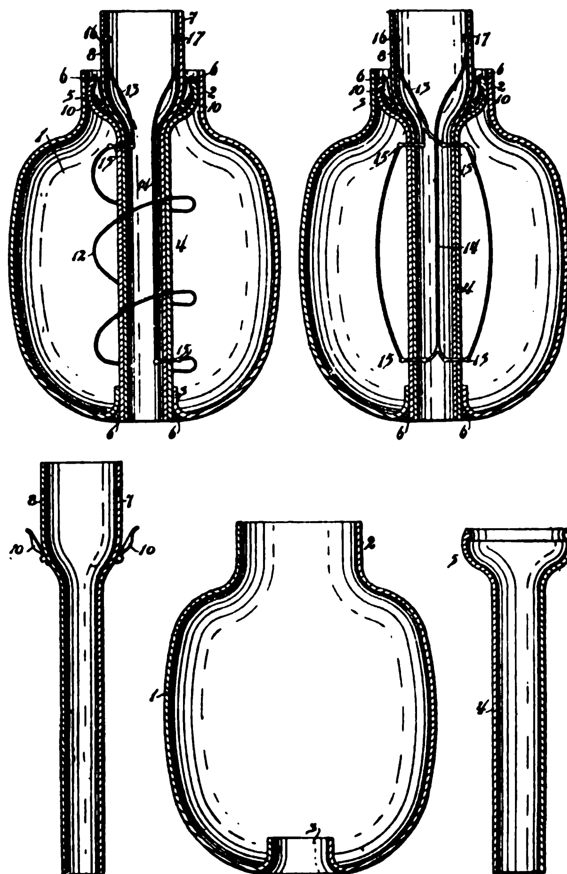


Fig. 6 à 10. — Réflecteur Turnbull.

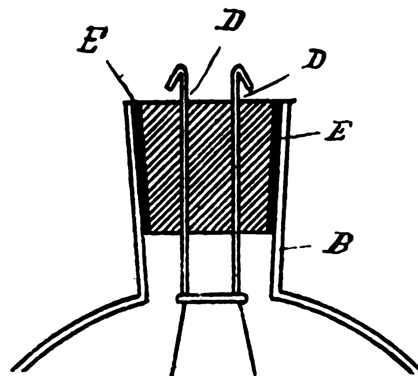


Fig. 11. — Scellements Hughes.

Le mode de *scellement* du culot des lampes de *R. Hughes* constitué (fig. 11) par une

simple bague de caoutchouc E, est sans doute aussi difficile à réaliser pratiquement que facile à imaginer. Quant aux attaches D, elles sont simplement enfoncées dans le culot d'ébonite pendant son moulage, avec un léger scellement au verre fondu aux points de sortie.

M. *Ram* commence (fig. 12) par sceller ses attaches CC dans un disque de verre D, qu'il scelle ensuite au col de la lampe, rempli de plâtre M, avec ses boutons de montage KK et ses contacts HH. Cette disposition supprime le culot métallique, mais sans peut être présenter, aux boutons K, toute la solidité désirable. Le remplissage M peut être avantageusement constitué par un mélange de plâtre, de chaux et de dextrine, plus dur que le plâtre, et moins sujet à briser le verre par sa dilatation.

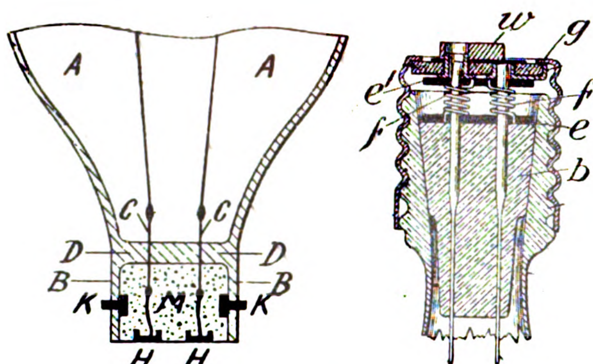


Fig. 12 et 13. — Scellements Ram et Green.

M. *Green* conserve (fig. 13) la garniture métallique mais avec un bouchon conique *b*, constamment appuyé par des ressorts *ff* à rondelles d'ébonite *ee'*, avec prises du courant en *w* et en *g*.

La monture *h* des lampes de *Neumann* est (fig. 14 et 15) pourvu de trois bras *ap*, avec pinces à vis *f*, permettant d'y fixer facilement l'abat-jour *g*, sans aucune autre monture auxiliaire.

Les fils L_1 et L_2, qui amènent le courant, aboutissent, dans la monture *Proctor* (fig. 16 et 17) : le premier directement à la prise de contact B, et l'autre, L_2, à la lame D, dont la lame vis-à-vis E, est relié au deuxième contact C. La clef H porte une étoile G maintenue par les ressorts K, et un disque d'ébonite M, à deux contacts

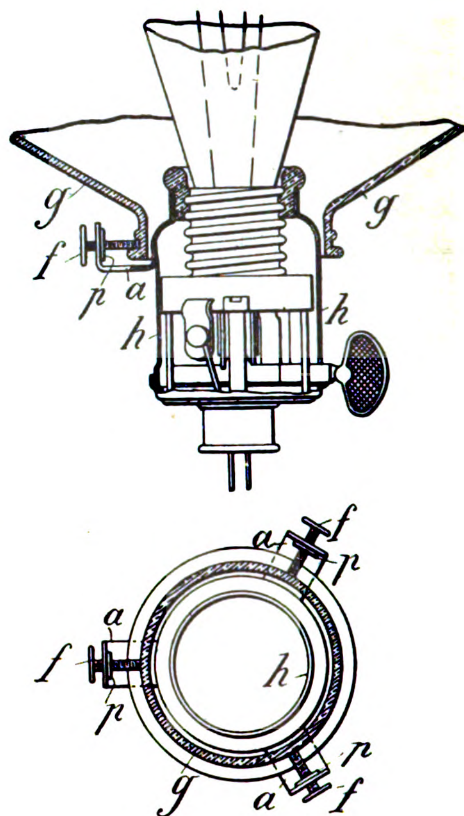


Fig. 14 et 15. — Monture Neumann.

diamétralement opposés H. Dans la position figurée pour H, l'un des contacts N, engagé

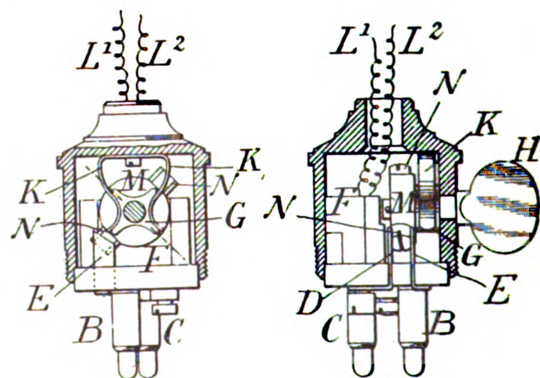


Fig. 16 et 17. — Monture Proctor.

entre les lames D et E, ferme le circuit L_2BL_1D HC. Quand on tourne ensuite H de 90 degrés,

ce contact s'échappe d'entre D et E, et rompt le circuit qui se rétablit de même, pour le second contact N, un quart de tour après.

Le culot en vitrite *g* de la lampe *Jack* est, figures 18 à 22, pourvu de contacts *f* et *f'*, aux-

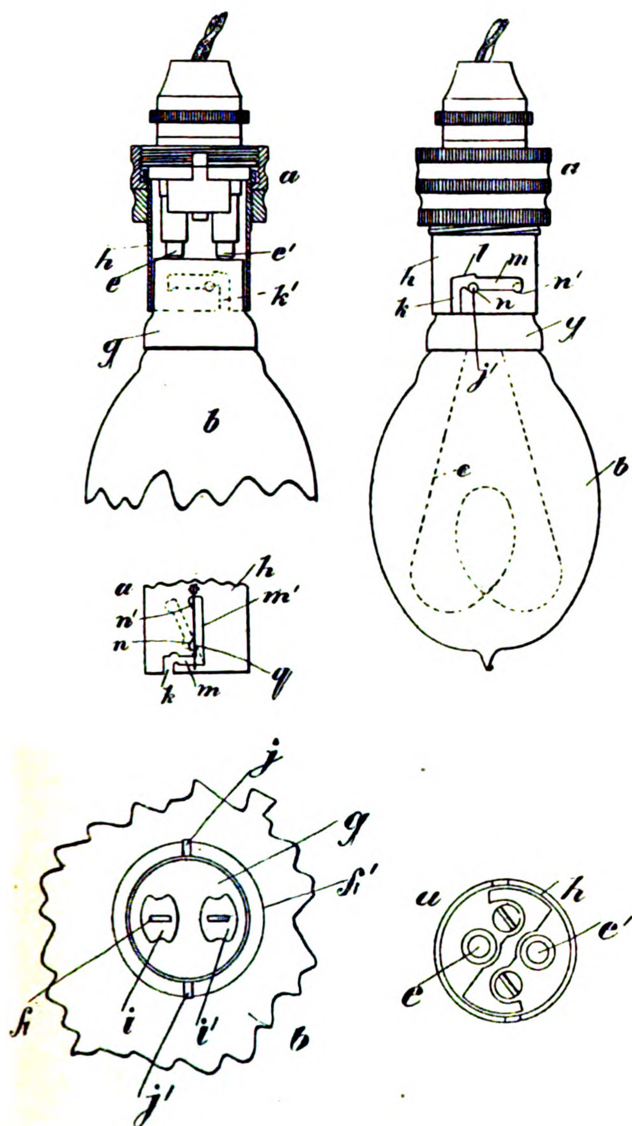


Fig. 18 à 22. — Monture Jack.

quels aboutit le filament *c* en *i* et *i'* et de tétons *j* et *j'* par lesquels il se rattache au joint à bayonnette *klm* de la monture *h*. Pour allumer ou éteindre la lampe il suffit de la tourner d'environ 90 degrés, de manière à engager *j* et *j'* en *n* ou en *n'* : à refaire ou à séparer, tout en les décapant par leur frottement, les contacts *i i'* d'avec les touches *e* et *e'*.

Avec le dispositif (fig. 20), dont la douille *h* présente deux fentes verticales *m'*, à ressorts *q*, il suffit, pour rompre les contacts, de pousser la lampe de manière que ses tocs *j* et *j'* se prennent en *n'*, où ils restent maintenus par des ressorts *q*,

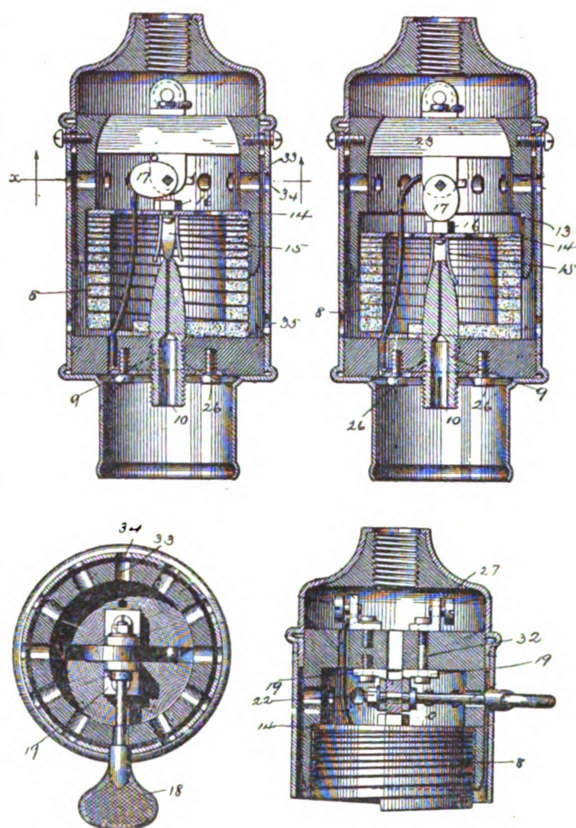


Fig. 23 à 26. — Monture à rhéostat Ries.

et pour rompre le circuit, de tirer la lampe de manière à l'arrêter en *n*.

Les figures 23 à 26 représentent l'une des dernières formes de la monture à rhéostat, régulateur *Ries*. Ce rhéostat est composé d'une bande de carbone 8, enroulée en forme de ressort à boudin, et dont les spires supérieures sont moins épaisses, de manière qu'elles fassent, lorsqu'on comprime ce ressort, successivement contact entre elles. Cette compression s'opère par une came 17 à manette 18, appuyée sur le bouton 16 de la plaque 14, qui termine le rhéostat.

Quand le rhéostat est en compression, le couchant traverse la lampe suivant le trajet 27, 32, 19, 17, 16, 14, 8. 9., le filament, les bornes 26 du fil 30, ce fil, et la borne 28. Quand le came 17 occupe la position figure 24, le rhéostat est comprimé au maximum, et le contact 15-9, coupant ce rhéostat du circuit, supprime toute résistance, de manière que la lampe marche avec la plus grande intensité possible. Quand elle occupe la position figure 23, le circuit est rompu et la lampe éteinte. Des taquets 23, 24, et la butée 13, limitent la rotation de la came 17 et l'expansion du rhéostat; et le serrage de son écrou 22 suffit pour maintenir la came 17 dans toutes ses positions; enfin, la ventilation de la moulure est assurée par un appel d'air 33, 34, 35.

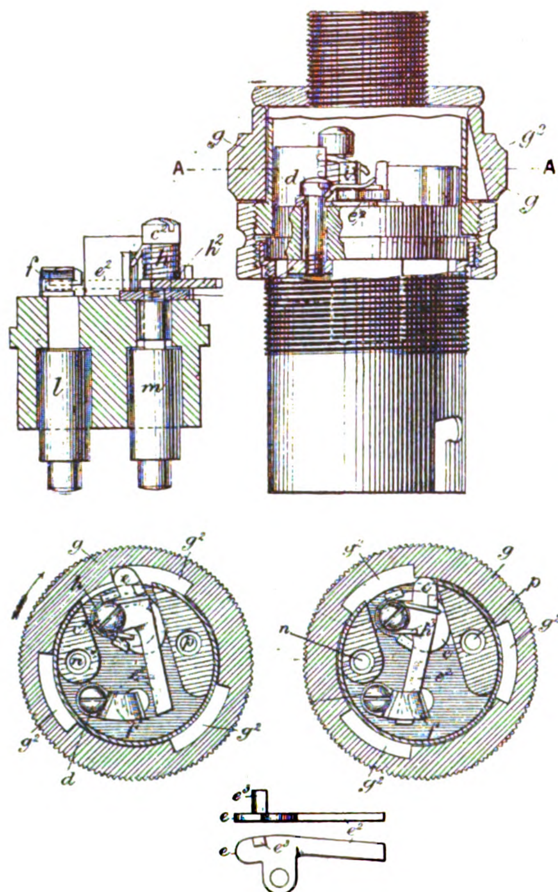


Fig. 27 à 32. — Monture Evered et Watson.

Dans la monture *Evered* et *Watson*, (fig. 27 à 32), le courant traverse la lampe de n en p suivant le trajet $p\,l$ filament $m\,c_2\,e_2\,f\,d\,n$, au travers de la barre e_2. Pour rompre ce courant, il suffit de tourner g de 60°, de la position figure 30 à celle figure 29, de manière que, l'extrémité e de la barre e_2 pénétrant dans l'une des encoches g_2 de g, le ressort h_3 sépare vivement e_2 de f, en la repoussant par sa butée e_3 (fig. 31); puis le rétablissement du circuit se refait en continuant à tourner g d'encore 60°.

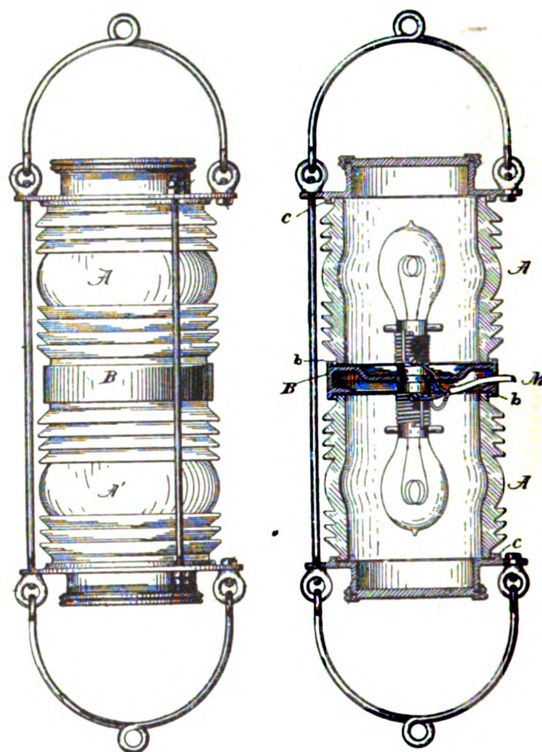


Fig. 33 et 34. — Lanterne Knowles.

La *lanterne* pour lampes à incandescence de *Knowles* se compose (fig. 33 à 38) de deux lentilles à prismes cylindriques A A, assemblées sur une cloison médiane B, avec garnitures de caoutchouc $b\,b$, $c\,c$, absolument étanches à l'eau. Les deux lampes G G sont fixées à B par une vis I, et desservies par un seul câble M, à deux conducteurs $m\,m$, reliés respectivement à chacune des hélices K, dans lesquelles sont vissées les montures des lampes, et à fil de retour unique i, relié à la vis I, qui fait, en L, contact avec le filament. Pour enlever les lampes

on abaisse comme en figure 35 le bras K' de leur hélice K sur sa butée *k*, de manière que cette hélice ne se coince pas sur la monture. On obtient ainsi un mode d'attache à la fois flexible, simple et solide, parfaitement adapté à un appareil sujet à des chocs.

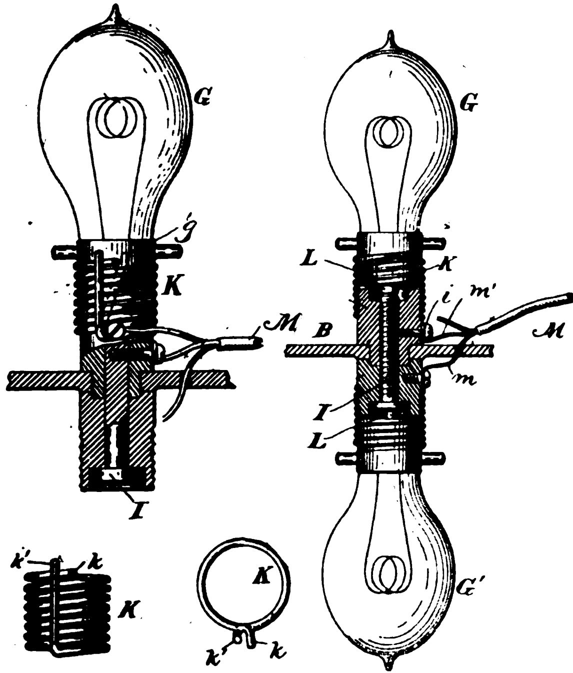


Fig. 35 à 38. — Lanterne Knowles.

GUSTAVE RICHARD.

REVUE

DE LA PRESSE INDUSTRIELLE ET DES INVENTIONS

Le recuit électrique des cuirasses de navires, par W.-W. Hanscom (¹).

Nous avons déjà signalé cette application curieuse du courant électrique (²). Voici la description détaillée des appareils employés; l'ensemble de l'installation comprend un alternateur avec son excitatrice et son moteur, un rhéostat de réglage, un transformateur.

L'alternateur et son excitatrice sont du type commercial ordinaire; le premier a une capacité de 40 kilowatts; il a 6 bobines montées sur un nombre égal de pôles; les enroulements sont groupés par deux séries de trois bobines en quantité. Il donne, à 1 000 tours par minute 135 ampères et 300 volts. Le rhéostat de régulateur se place entre l'excitatrice et les inducteurs de l'alternateur.

Le transformateur consiste en un circuit magnétique extérieur en fer laminé, entourant les enroulements primaire et secondaire; le premier est enroulé sur une forme et placé à l'intérieur du second qui est formé par deux pièces de cuivre boulonnées ensemble; l'espace intermédiaire est rempli d'huile qui assure un bon isolement et sert à dissiper la chaleur dégagée; le secondaire n'a qu'un seul tour, en forme d'U, aux extrémités duquel peuvent être boulonnées différentes pièces de contact en cuivre qui sont creuses et à l'intérieur desquelles circule de l'eau froide, afin d'éviter que la chaleur dégagée sur les pièces au recuit ne se propage jusqu'aux bobines.

L'opération est conduite comme nous l'avons dit, dans l'article précité; pour un trou de 2,225 cm. de diamètre les pièces de contact sont écartées de 4,45 cm. Quand le contact est établi entre les pièces de contact et la plaque, un léger bourdonnement l'annonce à l'ouvrier qui augmente graduellement le courant jusqu'au maximum. Un point rouge brillant paraît sous chaque pièce de contact. La chaleur locale intense en ces points entraîne la dilatation de la plaque dans le sens de la moindre résistance, formant des petits monticules, autour desquels se forment des cercles qui graduellement changent de couleur et ne tardent pas à se rejoindre au milieu de l'intervalle qui sépare les deux pièces de contact. Le courant est maintenu constant jusqu'à ce que la plaque soit suffisamment chaude pour carboniser ou même enflammer une tige de bois par son simple contact; il est ensuite lentement diminué.

La période de chauffage dure environ trois minutes, avec une intensité de courant de

(¹) *The Pacific Electrician*, may 1895, p. 37.
(²) *L'Eclairage Electrique*, 20 avril 1895, p. 37.

3 500 à 6 000 ampères sous une tension de 4 volts. La période de refroidissement dure de dix à douze minutes.

G. P.

Application des courants triphasés à l'exploitation des tramways électriques.

La ligne de Dalkey, de la Dublin Southern C°, vient d'être équipée électriquement; l'installation mérite une mention particulière.

Par suite de la longueur de la ligne (13 1/2 km. environ), et de la nécessité imposée par les règlements, de ne pas dépasser une chute de potentiel totale de 7 volts dans le circuit de retour par les rails, les organisateurs se virent forcés de modifier les dispositions habituelles; si tout le courant était revenu par les rails, la chute de potentiel se serait élevée à 20 volts. En outre, des considérations particulières de commodité et d'économie firent adopter une seule station centrale.

On adopta donc la disposition représentée

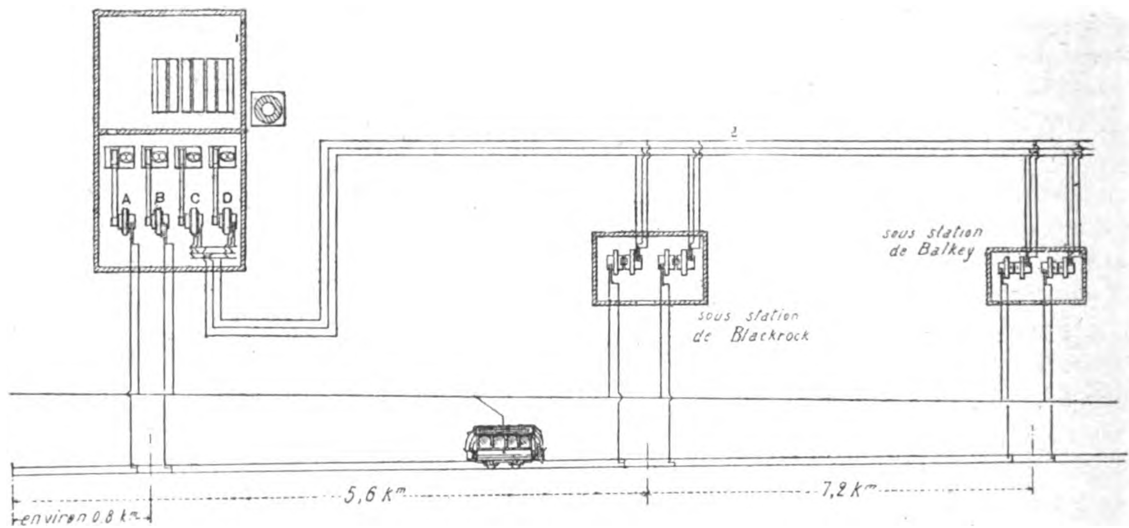


Fig. 1.

en figure 1. Deux générateurs A et B, dans la station principale, fournissent le courant continu à la ligne; ce sont des machines d'une puissance de 100 kilowatts chacune. En outre, dans la même station des alternateurs C et D d'une puissance de 120 kilowatts chacun, fournissent des courants triphasés à la tension de 2 500 à 3 000 volts, (30 périodes par seconde), qui servent à actionner, dans les deux sous-stations indiquées, deux moteurs synchrones, d'une capacité de 60 kilowatts chacun qui entraînent des génératrices à courant continu dont le courant est transmis à la ligne du trôlet. Le courant d'excitation des alternateurs C et D est fourni par les machines A et B. Les moteurs des sous-stations peuvent être mis en marche soit par le courant triphasé directement, soit entraînés par les génératrices à courants continus qui reçoivent le courant de la ligne principale. Des dispositions particulières sont prises à cet effet.

Deux câbles concentriques à trois conducteurs sont installés entre la station centrale et les deux sous-stations; l'un d'eux sert de réserve, afin d'éviter toute interruption du service.

En admettant que la puissance absorbée par une voiture motrice remorquant un wagon soit de 1 1/2 kilowatt-heure, la chute de potentiel dans la canalisation alternative plus celle dans la ligne du trôlet serait moindre que 8 p. 100. Avec le même poids total de cuivre et la tension ordinaire de 500 volts la chute de potentiel aurait été de 30 p. 100. La chute maxima dans le circuit de retour par la terre dans les conditions normales n'excédera pas 2 volts.

La densité du courant dans tous les contacts souterrains sera si faible qu'on espère que tous les troubles dus à l'électrolyse seront évités.

Une installation semblable sera faite pour la ligne de la Lowell and Suburban Street Railway Company.

Les générateurs fourniront à volonté du courant continu et du courant alternatif triphasé afin de pouvoir être couplés en parallèle avec les générateurs à courant continu de la station centrale quand ils ne seront pas employés pour la transmission de l'énergie sous forme de courants alternatifs. Ils sont enroulés de façon à donner un courant alternatif à bas voltage; ce courant, dont la tension est élevée à 5 000 volts au moyen de transformateurs, est transmis à deux sous-stations situées l'une à 14 1/2 km. et l'autre à 22,4 km. de distance.

Dans chacune d'elles le courant, dont la tension est d'abord convenablement réduite au moyen de transformateurs réducteurs, est transformé au moyen de transformateurs tournants en un courant continu. Ces derniers appareils sont construits pour maintenir aux bornes un voltage de 500 volts à vide et un voltage de 550 à pleine charge.

Une autre sous-station de transformateurs située à environ 10 km. de la station centrale sera installée pour l'allumage de 400 lampes à incandescence.

Les résultats financiers de cette exploitation seront suivis avec curiosité.

G. P.

Indicateur et tachymètre électriques pour machines à vapeur, par A.-M. Hunt et Wynn Meredith (¹).

Dans tous les cas où l'on a à évaluer la puissance et le rendement d'un moteur à vapeur dont la vitesse peut varier très rapidement par suite des différences dans la charge, comme c'est le cas dans les stations centrales de tramways électriques, les appareils suivants peuvent rendre de réels services. Ils permettent d'obtenir simultanément des diagrammes d'enregistreurs et la vitesse correspondante du moteur.

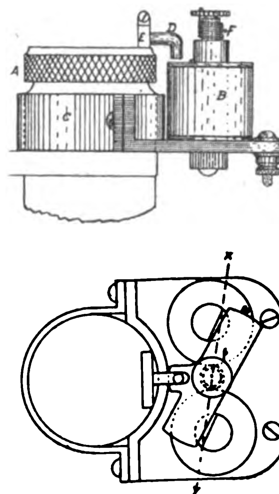


Fig. 1 et 2.

Le crayon de l'indicateur en E (fig. 1 et 2) est commandé par l'armature p d'un électro-aimant B, monté sur le cylindre A de l'indicateur au moyen d'un collier C. Lorsque l'électro est animé, le crayon mis en contact avec le papier inscrit le diagramme.

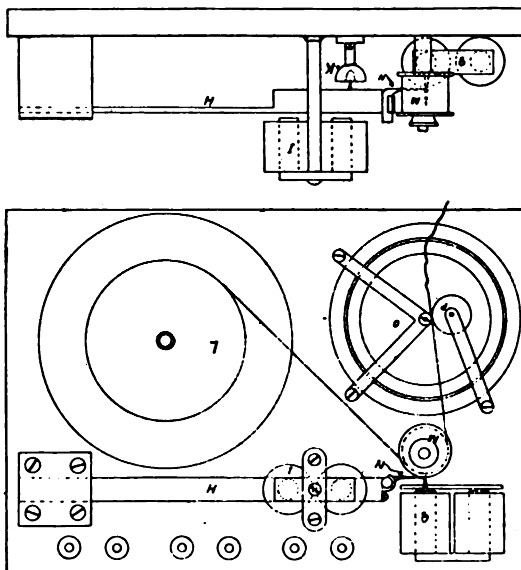


Fig. 3 et 4.

L'indicateur de vitesse représenté en figures 3

(¹) *Pacific Electrician*, mai 1895, p. 39.

et 4 se compose d'une bande de papier L M P sur laquelle une tige vibrante H, dont le mouvement est entretenu par un électro-aimant I, enregistre les divisions du temps au moyen d'un tube siphon N, tandis qu'un électro Q, actionné par un contact placé sur l'arbre du moteur, marque un point à chaque tour.

Un bouton placé sous la main de l'opérateur permet d'actionner simultanément les deux appareils.

On pourrait aussi placer, sur le même circuit, différents appareils semblables, afin de prendre au même moment des mesures sur différents moteurs. G. P.

REVUE DES SOCIÉTÉS SAVANTES
ET DES
PUBLICATIONS SCIENTIFIQUES

Effet de la pression du gaz ambiant sur la température du cratère de l'arc électrique, par W.-E. Wilson (1).

Depuis quelques années on admet assez généralement que la température du cratère formant le pôle positif de l'arc électrique est celle de l'ébullition du charbon. Les déterminations les plus récentes placent ce point entre 3 200 et 3 500° C. Les physiciens qui ont étudié les phénomènes solaires ont pensé que la photosphère du soleil consiste en une couche de nuages formés de particules solides de charbon. Comme la température de ces nuages n'est certainement pas inférieure à 8 000° C., il semble très difficile d'expliquer comment le charbon peut bouillir à 3 500° dans l'arc, et se trouver à l'état solide à 8 000° dans le soleil. La pression de l'atmosphère solaire semblait être la cause la plus probable de cette différence d'état, mais pour d'autres raisons physiques, cette explication paraît à son tour invraisemblable.

(1) Communication faite à la Société Royale de Londres.

Dans le but d'examiner si une augmentation de pression du gaz entourant l'arc électrique avait pour effet d'élever la température du cratère, l'auteur a fait construire un appareil d'étude par la Cambridge Instrument Company. Cet appareil consiste en une forte caisse en fonte, essayée à la pression de 140 kg. par cm². Deux tuyaux en acier diamétralement opposés contiennent les électrodes de charbon dont l'une est poussée en avant sous l'action d'un ressort qui ramène sa pointe en un point fixe, tandis que l'autre peut être avancée à la main à l'aide d'une petite poulie à frottement dont l'axe passe par un presse-étoupe et se termine à l'extérieur par une manivelle. On assure ainsi la fixité du point lumineux de l'arc hermétiquement enfermé. Un troisième tuyau d'acier, vissé dans la boîte obliquement par rapport au cratère de l'arc, est fermé par une lentille de verre formant une image du cratère à environ 80 cm. de distance. La fente d'un radio-micromètre de Boys reçoit cette image.

L'instrument donne des déviations proportionnelles à l'intensité de la radiation du cratère.

Le courant est fourni par une batterie d'accumulateurs donnant 110 volts. Des résistances réglables permettent de faire varier l'intensité de 40 à 10 ampères. Un ampèremètre et un voltmètre aux bornes de l'arc donnaient l'intensité et la différence de potentiel employées.

Le gaz employé est l'azote; il est fourni sous une pression de 120 atmosphères par un réservoir réuni à la boîte en fonte par un tuyau de cuivre avec robinet de réglage. Un manomètre Bourdon indique la pression.

L'arc était amorcé lorsque la pression dans la boîte était celle de l'atmosphère. L'image de la partie la plus brillante du cratère envoyée sur le radio-micromètre donnait une certaine déviation. Puis on augmentait graduellement la pression, et on observait la déviation maximum. Avec la pression la résistance de l'arc augmente, et pour maintenir le courant constant il faut diminuer la résistance du circuit.

On s'aperçut bientôt que, même sous la pression modérée d'environ cinq atmosphères la température du cratère avait baissé. Non seulement les déviations de l'instrument accusaient ce fait, mais on s'en rendait encore compte à la diminution de l'éclat lumineux du cratère. En élevant la pression à 20 atmosphères on diminuait l'éclat du cratère jusqu'au rouge sombre.

Ces expériences ont été faites à maintes reprises, et toujours avec le même résultat.

L'auteur a ensuite étudié l'effet d'une réduction de pression; mais l'appareil ayant été construit pour de fortes pressions intérieures, ne tenait pas le vide; toutefois, en faisant fonctionner la pompe continuellement, on pouvait maintenir un vide modéré, et l'on a trouvé que le rayonnement du cratère était alors beaucoup plus grand qu'à la pression de l'atmosphère.

La température du cratère semblait très sensible à toute réduction subite de la pression du gaz. Quand on ouvrait brusquement le robinet d'échappement, l'éclat baissait tellement que le cratère devenait presque invisible et pendant le fonctionnement de la pompe on observait des variations d'éclat périodiques correspondant aux corps de piston.

La diminution de l'éclat ne pouvait être attribuée à un obscurcissement par des vapeurs dégagées, car les contours des objets intérieurs restaient bien nets et le gaz s'échappait limpide.

Il semble résulter de ces expériences que la température du cratère dépend, comme celle du filament d'une lampe à incandescence, de la vitesse de refroidissement par l'atmosphère ambiante, et non de la température à laquelle la vapeur de charbon présente la même pression que le gaz ambiant. Du fait que le charbon d'un filament de lampe à incandescence se transporte sur le verre du globe, il résulte que le charbon se volatilise déjà à des températures relativement basses. La pression de la vapeur de carbone dans l'arc peut donc être très faible, et il semblerait aussi que l'existence des grandes pressions dans la photosphère solaire n'est pas démontrée par ces expériences et que le charbon peut y exister à l'état solide à de hautes températures malgré la petitesse relative des pressions.

Dans ses expériences avec de basses pressions l'auteur a eu pour collaborateurs les professeurs Minchin et Fitzgerald.

A. H.

Sur l'électrolyse par courants alternatifs par W. Peukert (¹).

Suivant Mengarini un voltamètre intercalé dans un circuit à courants alternatifs se comporterait comme une résistance inductive, en créant une différence de phase entre le courant et la différence de potentiel. Comme, d'autre part, dans l'électrolyse par courants alternatifs les électrodes se polarisent, on a voulu voir dans ce phénomène une analogie avec ceux que présente l'arc à courants alternatifs. Or, d'après les recherches les plus récentes il ne se produit pas de décalage dans l'arc, comme l'a démontré expérimentalement M. Frölich. M. Steinmetz a indiqué que dans l'arc à courants alternatifs, on est en réalité en présence d'une différence de phase apparente; parce que tension et courant n'y affectent pas simultanément une forme purement sinusoïdale, et que les déformations d'une onde par rapport à l'autre produisent entre les volt-ampères et les watts une différence sensible. L'auteur s'est proposé de rechercher si, dans un voltamètre traversé par des courants alternatifs, on se trouve en présence d'un effet analogue.

La forme des deux courbes (différence de potentiel et courant dans le voltamètre) a été déterminée par la méthode du contact instantané de M. Joubert. Les électrodes étaient soient des lames de platine de 50 à 100 cm^2 de surface, soit une lame et un fil de platine, soit encore des crayons de charbon à arc.

Le résultat obtenu dans tous ces cas est pour le moins curieux : on n'a pas trouvé la moindre différence de phase entre le courant

(¹) *Elektrot. Zeitschr.*, 6 juin 1895.

et la différence de potentiel aux bornes du voltamètre. Le fait a été vérifié par l'égalité entre la puissance mesurée au wattmètre et le produit des volts par les ampères.

La même expérience répétée sur un arc à courants alternatifs a permis de constater derechef l'absence de tout décalage et aussi la forme de la différence de potentiel très différente d'une sinusoïde.

A. H.

Variations de la résistance des solutions sous l'influence de courants constants, par F. Kohlrausch et A. Heydweiller (1).

Dans des recherches sur l'eau pure les auteurs ont trouvé que la résistance électrique de l'eau est rapidement diminuée par un courant de sens invariable. Cette diminution se présente même pour l'eau la plus pure, quoiqu'à un moindre degré. Dans l'eau impure la variation peut dépasser 50 p. 100. Un changement de sens du courant agit d'une façon variable. Le plus souvent on observe une nouvelle diminution de la résistance suivie par une augmentation. Mais le phénomène pouvait aussi se produire dans l'ordre inverse.

Il en est de même de solutions salines étendues. Il convient donc de prendre certaines précautions, quand on veut déterminer des résistances d'électrolytes à l'aide de courants constants.

Les auteurs donnent ensuite des résultats de leurs mesures. Dans une solution diluée de sulfate de potasse, par exemple, la résistance était au début de $1,74 \times 10^6$ ohms, mais tombait au bout de 67 secondes à $1,08 \times 10^6$, pour s'élever au bout de 20 minutes à 46×10^6 ohms. A ce moment le courant a été renversé, et après 8,5 minutes, un minimum de résistance de $1,74 \times 10^6$ ohms s'est produit, suivi d'une augmentation jusqu'à 110×10^6 ohms au bout de 40 minutes. En agitant la solution, on pouvait rétablir la valeur initiale de $1,74 \times 10^6$ égale au second minimum.

Pour l'explication de ces variations on peut admettre pour les solutions salines, d'après Buff (1858), une progression de l'acide à partir de l'anode, et de la base partant de la cathode. La colonne de solution se rétrécit de plus en plus entre ces deux régions, et semble disparaître. Ce phénomène implique une diminution de résistance.

A partir de la rencontre de deux halos, il doit se former autour de la surface de contact une couche exempte de sel, c'est-à-dire une couche d'eau pure, qui augmente la résistance.

Cette explication s'appuie encore sur les faits observés par O. Lehmann (1) au passage d'un courant dans de l'eau colorée avec de l'éosine, du rouge du Congo, etc., quoique Lehmann en fournisse lui-même une autre interprétation.

Les auteurs ont fait des expériences analogues en employant comme matières colorantes la cochenille, la tropéoline et la phénolphtaléïne. Tous ces essais ont montré que l'extension des halos colorés correspond à une diminution de résistance, et que la variation inverse de la résistance s'observe à partir du moment de la rencontre de ces halos acides et basiques.

Pour l'eau pure il est probable que l'électrolyse engendre des composés hydrogénés et oxygénés relativement conducteurs, qui disparaissent avec le temps.

A. H.

Loi de la distribution du magnétisme moyen à la surface du globe, par le général Alexis de Tillo (2).

« La loi de la distribution du magnétisme moyen à la surface du globe se réduit à une formule très simple : c'est celle que donnerait un aimant situé au centre de la Terre et dont l'axe coïnciderait avec l'axe de rotation du globe.

« Soient φ la latitude ; H la force horizon-

(1) *Wied. Ann.*, t. LIV, p. 386, 1895. D'après *Elektrot. Zeitschr.*

(1) *La Lumière Electrique* du 7 juillet 1894, p. 38.

(2) *Comptes rendus*, t. CXXI, p. 97, séance du 8 juillet.

TABLEAU A. — *Éléments magnétiques moyens d'après la théorie. Unités électriques.*

Latitudes.	H.	V.	Z.	J.	T.
90°	0,000	0,328	0,656	90°,0	0,656
80	0,057	0,323	0,646	85,0	0,651
70	0,112	0,308	0,616	79,7	0,624
60	0,164	0,284	0,568	73,9	0,591
50	0,210	0,251	0,502	67,2	0,543
40	0,251	0,210	0,420	59,2	0,490
30	0,284	0,164	0,328	49,1	0,434
20	0,308	0,112	0,224	36,0	0,381
10	0,323	0,057	0,114	19,4	0,342
0	0,328	0,000	0,000	00,0	0,328

TABLEAUX DES ÉLÉMENTS MAGNÉTIQUES MOYENS OBSERVÉS : H_c, V_c, Z_c, J_c, T_c, ET DES DIFFÉRENCENCES ENTRE LA THÉORIE ET LES CARTES : $H - H_c$, $V - V_c$, $Z - Z_c$, $J - J_c$, $T - T_c$, POUR L'ÉPOQUE 1859.

TABLEAU B. — *Force horizontale, potentiel et force verticale. Unités électriques.*

Latitudes.	H_c.	$H - H_c$.	V_c.	$V - V_c$.	Z_c.	$Z - Z_c$.
90° N.	0,000	+ 0,000	0,320	+ 0,008	0,630	+ 0,026
80 N.	0,014	+ 0,013	0,307	+ 0,016	0,603	+ 0,043
70 N.	0,092	+ 0,020	0,291	+ 0,017	0,571	+ 0,045
60 N.	0,140	+ 0,024	0,274	+ 0,010	0,546	+ 0,022
50 N.	0,192	+ 0,018	0,247	+ 0,004	0,501	+ 0,001
40 N.	0,244	+ 0,007	0,211	— 0,001	0,334	— 0,014
30 N.	0,291	— 0,007	0,165	— 0,001	0,144	— 0,016
20 N.	0,324	— 0,016	0,112	± 0,000	0,231	— 0,007
10 N.	0,343	— 0,020	0,054	+ 0,003	0,107	+ 0,007
Equateur.	0,339	— 0,011	— 0,003	+ 0,003	— 0,016	+ 0,016
10 S.	0,323	+ 0,000	— 0,060	+ 0,003	— 0,133	+ 0,019
20 S.	0,297	+ 0,011	+ 0,111	— 0,001	— 0,235	+ 0,011
30 S.	0,267	+ 0,017	— 0,160	— 0,004	— 0,324	— 0,004
40 S.	0,238	+ 0,013	— 0,203	— 0,007	— 0,402	— 0,018
50 S.	0,209	+ 0,001	— 0,241	— 0,010	— 0,472	— 0,030
60 S.	0,177	— 0,013	— 0,275	— 0,009	— 0,533	— 0,035
70 S.	0,135	— 0,023	— 0,308	± 0,000	— 0,608	— 0,008
80 S.	0,093	— 0,036	— 0,327	+ 0,004	— 0,655	+ 0,009
90 S.	0,050	— 0,050	— 0,340	+ 0,012	— 0,690	+ 0,034

TABLEAU C. — *Inclinaison et force totale.*

Latitudes.	J_c.	$J - J_c$.	T_c.	$T - T_c$.
90° N.	88°0	+ 2°0	0,590	+ 0,066
80 N.	84,0	+ 1,0	0,574	+ 0,077
70 N.	80,7	— 1,0	0,579	+ 0,045
60 N.	75,3	— 1,4	0,565	+ 0,026
50 N.	68,6	— 1,4	0,540	+ 0,003
40 N.	60,1	— 0,9	0,501	— 0,011
30 N.	49,0	+ 0,1	0,455	— 0,021
20 N.	34,5	+ 1,5	0,406	— 0,025
10 N.	16,8	+ 2,6	0,370	— 0,028
Equateur.	— 2,4	+ 2,4	0,353	— 0,025
10 S	— 20,7	+ 1,3	0,361	— 0,019
20 S	— 36,2	+ 0,2	0,389	— 0,008
30 S	— 48,2	— 0,9	0,426	+ 0,008
40 S	— 57,2	— 2,0	0,474	+ 0,016
50 S	— 64,5	— 2,7	0,522	+ 0,021
60 S	— 70,4	— 3,5	0,568	+ 0,023
70 S	— 75,6	— 4,1	0,605	+ 0,019
80 S	— 78,8	— 6,2	0,622	+ 0,029
90 S	— 85,0	— 5,0	0,640	+ 0,016

tale ; V le potentiel magnétique ; Z la force verticale ; J l'inclinaison et T la force magnétique totale. Pour calculer tous les éléments du magnétisme moyen, d'après cette loi, nous avons les formules

$$H = H_0 \cos \varphi,$$
$$V = H_0 \sin \varphi,$$
$$Z = 2V,$$
$$\text{tang}\ J = 2\ \text{tang}\ \varphi,$$
$$T = \frac{H}{\cos J} = \frac{Z}{\sin J}.$$

« *La constante* H_0, *qui rend les écarts entre les observations et la théorie aussi petits que possible, est égale à* 0,328 *dynes.*

« Le Tableau A contient les éléments magnétiques moyens, obtenus d'après la théorie, au moyen de H_0=0,328 C. G.S.

« Dans les Tableaux B et C, je donne : dans les premières colonnes, les valeurs moyennes des éléments pour l'époque 1859, d'après les Cartes magnétiques (1829, 1842, 1880, 1885) ; dans les secondes colonnes, les différences entre les valeurs données par la théorie et les valeurs observées. Pour les latitudes 90° N., 80° et 90° S., j'ai dû naturellement recourir à l'extrapolation.

« Sans nous occuper, pour le moment, du caractère un peu systématique des écarts, nous pouvons considérer que la répartition des éléments moyens ou permanents du magnétisme à la surface du globe a lieu, en général, d'après le système du Tableau A qui a été construit uniquement suivant les formules (1).

$$H - H_c = \pm\ 0{,}016 \text{ C.G.S.},$$
$$V - V_c = \pm\ 0{,}006 \text{ C.G.S.},$$
$$Z - Z_c = \pm\ 0{,}019 \text{ C.G.S.},$$
$$T - T_c = \pm\ 0{,}026 \text{ C.G.S.},$$
$$J - J_c = \pm\ 2°{,}1.\ \text{»}$$

(1) En ce qui concerne la déclinaison moyenne, voir *Comptes rendus*, t. CXIX, n° 15, et *Pet. Mit.*, 12 ; 1894.

VARIÉTÉ

L'INVENTION DE L'ÉLECTRO-AIMANT

Dans un récent article paru sous ce même titre (1), notre sympathique collaborateur, M. G. Pellissier, a cru devoir relever une prétendue *erreur* commise par M. S.-P. Thompson dans son remarquable ouvrage sur « L'Electro-aimant et l'Electro-mécanique » et même l'accuser un peu vivement de *fausser la vérité.*

Simple traducteur de cet ouvrage et n'étant, par suite, nullement mis en cause dans cette controverse, nous ne voudrions cependant point passer pour avoir accepté sans discernement et laissé sans commentaire une erreur *aussi en opposition*, suivant M. Pellissier, *avec les documents irréfutables inscrits au grand livre de l'histoire;* aussi nous permettrons-nous d'aller un peu plus au fond des choses, tout en restant sur le terrain où il s'est placé lui-même. Loin de blâmer son chauvinisme qui n'a rien de déplacé nous lui demanderons de nous accorder que nous sommes aussi soucieux que lui de la gloire de nos grands hommes et désireux, comme lui, de rendre à chacun ce qui lui appartient; mais nous l'engageons à modérer sa juvénile ardeur : « qui veut trop prouver ne prouve rien ».

Ceci posé, M. Pellissier, pour justifier la conviction dans laquelle lui et tant d'autres ont été élevés, en appelle tout d'abord au témoignage de tous les auteurs qui ont écrit sur cette partie de la science électrique. Sans nous attarder à les parcourir, nous lui concédons qu'en effet la découverte de l'électro-aimant a été, au moins autrefois, attribuée à Arago (on ne prête qu'aux riches). Mais nous constatons, à notre grand étonnement d'ailleurs, que les meilleurs ouvrages récents, dans lesquels nous espérions trouver quelques éclaircissements sur ce point, sont absolument muets à cet égard. Est-ce la consécration d'une croyance générale ou un acte de prudence sagement motivé par la difficulté souvent très grande

(1) Voir l'*Éclairage Electrique*, t. III, 8 juin 1895, p. 472.

de résoudre ces questions de priorité et par la crainte, non moins fondée, de soulever, sans aucun profit pour la science ni pour la pratique, des contestations oiseuses? Nous l'ignorons et nous bornons à enregistrer le fait. Quant à ce qui a pu précéder les travaux modernes, il nous suffira de rappeler avec Montesquieu qu'« il est des choses que tout le monde « dit parce qu'elles ont été dites une fois ».

Aussi nous reporterons-nous uniquement aux documents cités par notre aimable contradicteur, qui sont en même temps les plus authentiques. Ce sont les procès-verbaux des séances du Bureau des longitudes (1820), les communications à l'Académie des sciences, d'après le *Moniteur* de la même année, les *Annales de chimie et de physique*, toujours de 1820, le tout réuni d'ailleurs dans les *Œuvres complètes* de François Arago, publiées en 1854 et où nous trouvons, tome IV, Notices scientifiques, II, sous le titre « Electro-Magnétisme » (œuvre posthume), pp. 405 et suivantes, l'historique complet de la question, abrité sous ce principe énoncé par Arago lui-même, p. 429: « Je maintiendrai, en thèse générale, qu'une « publication, par quelque voie que ce soit, « est le seul titre qu'on doive admettre dans « l'histoire des sciences ».

Or, si l'on y lit bien que la pile voltaïque *aimante le fer doux*, il faut voir sous quelle forme et dans quelles conditions; la première communication à l'Académie des sciences nous le dit : « *Le fil* conjonctif (droit) qui établit la « communication entre les deux pôles de la « pile de Volta *se charge de limaille de fer* « comme le ferait un aimant. Ce fil n'agit donc « pas seulement sur les aiguilles déjà aiman- « tées, mais il développe encore le magné- « tisme dans le fer qui n'a pas été soumis à « une aimantation préalable. Aussi des « *aiguilles de boussole non aimantées* sont- « elles déviées par l'action du fil conjonctif ». Nous poussons, comme on le voit, la citation plus loin que M. Pellissier. Suit la description détaillée de la découverte, dans laquelle il n'est toujours question que de *limaille de fer* arrivant à donner au fil conjonctif la grosseur d'un tuyau de plume ordinaire. Arago dit bien : « Œrsted n'avait trouvé que l'action « exercée par le courant voltaïque sur une « aiguille préalablement aimantée. En répé- « tant les expériences du physicien danois, de « 1819, j'ai reconnu que ce même courant dé- « veloppe la vertu magnétique dans les *lames* « *de fer et d'acier* qui d'abord en étaient « totalement privées »; mais il ne s'agit ici que de la répétition de l'expérience d'Œrsted appliquée au fer, et, quoique le mot « lames de fer » soit prononcé, il n'en est nullement parlé dans les expériences, les aiguilles de boussole non aimantées devant être nécessairement des aiguilles d'acier. Arago reconnaît encore, dans cette première expérience, que *le fil* conjonctif ne communique au fer doux qu'une aimantation *momentanée* qui cesse avec le courant. Mais c'est uniquement *le fil*, et le fil *droit*, qui le préoccupe ; il essaie ou veut essayer des *fils* de métaux, de masse, de forme et de diamètre différents. « Le *fil* conjonctif de cuivre », dit-il en conclusion, « est « doué, comme on voit, d'une vertu magné- « tique très intense tant qu'il communique « avec les deux pôles de la pile. Il m'est même « arrivé plus d'une fois de *lui* trouver encore « des traces de cette propriété quelques in- « stants après que la communication entre les « deux pôles avait été totalement interrompue; « mais ce phénomène est très fugitif... »

Dans cette mémorable expérience, l'illustre académicien n'a donc étudié et constaté qu'un seul fait, la propriété d'un *fil* métallique *droit*, parcouru par un courant, d'aimanter l'acier et d'aimanter momentanément des particules ou fragments de fer en les attirant, propriété du fil et nullement du fer. Mais poursuivons, le même livre à la main.

Dans le chapitre suivant « Aimantation d'une aiguille au moyen du passage du courant électrique en hélice », il n'est plus en aucune façon question de fer doux, mais exclusivement d'aiguilles en *acier*, dont, comme il le dit lui-même, Arago n'était pas arrivé à assurer la position constante des pôles et qu'il n'était même parvenu que difficilement à aimanter.

Ampère n'avait encore fait que son importante découverte de l'action mutuelle et réciproque de deux fils rectilignes parcourus par des courants dont il avait déduit par analogie sa théorie de la constitution élémentaire des aimants. C'est au moment même où il assistait aux expériences, qu'Arago était venu lui montrer, que son génie lui suggéra l'idée subite d'enrouler le fil en hélice et de placer au centre l'aiguille d'*acier*. « Il espérait obtenir ainsi une « plus forte aimantation et une position con« stante des pôles, ce qui n'arrivait pas dans « la méthode d'Arago. » L'expérience en fut faite séance tenante entre les deux savants ; elle est classique. Et Arago reconnaît que « après quelques minutes de séjour dans l'hé« lice, l'aiguille d'*acier* avait reçu une assez « forte dose de magnétisme ; la position des « pôles nord et sud se trouva d'ailleurs parfai« tement conforme au résultat qu'Ampère avait « déduit, à l'avance, de la direction des élé« ments de l'hélice, et de l'hypothèse que le « courant électrique parcourt le fil conjonctif « en allant de l'extrémité zinc de la pile à l'ex« trémité cuivre. »

Le *solénoïde* était dès lors créé grâce au génie d'Ampère, à qui Arago rend complètement justice en reportant sur lui tout le succès de son expérience et cherchant à expliquer l'insuccès relatif de ses premiers essais.

De là les deux éminents physiciens passent à l'étude de l'action de deux hélices consécutives, mais d'enroulement inverse et à la création des pôles conséquents dans les aiguilles d'*acier*. L'action magnétique du solénoïde est parfaitement définie, si bien qu'Arago reconnaît n'avoir, dans ses premières expériences, donné des pôles à son aiguille à coudre avec le fil rectiligne que grâce à ce que, pour maintenir plus facilement cette aiguille, il avait un peu enroulé le fil autour de ses extrémités.

A part ce dernier mot jeté en passant, nous ne pensons pas que que l'on puisse trouver dans les citations ci-dessus fidèlement résumées rien qui soit de nature à établir de la part d'Arago la découverte ni la prétention à la découverte de l'électro-aimant. Il n'a eu en vue que les propriétés magnétiques acquises par un *fil* métallique parcouru par un courant et se manifestant par l'*attraction momentanée de la limaille de fer*, puis la polarité constante donnée à des aiguilles d'*acier* soumises à l'action d'un *courant en hélice dû à Ampère*, et rien ne nous paraît justifier cette assertion de M. Pellissier : « L'électro-aimant était créé, par ces recherches, dans ses éléments essentiels, à savoir : l'aimantation temporaire du *fer doux* par un fil conducteur enroulé en hélice plusieurs fois *autour du fer, afin d'augmenter l'intensité d'aimantation* », pas plus que : « Les expériences de Sturgeon ne diffèrent de celles d'Arago que par l'emploi d'un *noyau plus gros* ».

Dans les expériences d'Ampère et d'Arago, il n'est nullement question de *noyau*, et tout est là. Ils ont découvert et parfaitement défini les propriétés magnétiques du *solénoïde* qui se retrouvent dans l'électro-aimant ; mais ils n'ont pas eu l'idée de *renforcer* son action magnétisante extérieure *par l'insertion d'un noyau de fer*, caractère essentiel de l'électro-aimant. Qu'ils aient largement ouvert la voie, nul ne le conteste ; mais ils n'ont pas inventé l'électro-aimant. Pour eux, le fer est resté sujet *passif* ; il n'a été en quelque sorte et tout au plus que l'armature de l'aimant solénoïdal d'Ampère, puisque l'*acier seul a été soumis à un courant en hélice*. Ces deux grands savants ont inventé, si l'on veut, l'électro-aimant *à noyau d'air*, mais non celui à noyau de fer que nous connaissons aujourd'hui.

Ce grand pas suffit à leur gloire après tout ce qu'ils ont fait d'ailleurs. L'illustration d'Archimède, de Lavoisier et de Faraday n'est pas atteinte par les nombreuses applications faites du levier depuis l'antiquité, ni par la poudre sans fumée, ou par les machines de Pixii, de Pacinotti et de Gramme ; mais on ne saurait attribuer aux premiers les dernières inventions. Les travaux successifs des savants du monde entier conduisent chaque jour pas à pas vers de nouvelles découvertes ; mais, quoi qu'en dise M. Pellissier, l'*invention* appartient, à notre sens, à celui qui, avec beaucoup

moins de génie peut-être et en profitant des études progressives de ses devanciers, la met sur pieds sous une forme immédiatement utilisable et en en signalant la valeur réelle.

Il est d'ailleurs un autre argument (non pas *ad hominem* mais *ex homine*) que nous ne faisons intervenir ici qu'en dernier lieu et qui a bien sa valeur. Il est tiré du caractère de l'homme. Si Ampère était modeste, Arago ne se laissait pas, et avec raison, volontiers marcher sur le pied ; il relevait même très énergiquement, les empiétements sur son domaine, témoin sa fameuse discussion à propos de la roue de Barlow quelques années plus tard. Il savait que : « Ceux qui reconnaissent un nouveau fait dans les sciences d'observation doivent s'attendre qu'on le niera d'abord ; que, plus tard, son importance, son utilité, seront contestées ; viendra ensuite le chapitre de la priorité ; alors des passages insignifiants, obscurs, inaperçus jusque-là, arriveront en foule comme des preuves manifestes de l'ancienneté de la découverte » (Arago, *loc. cit.*), et, provoqué ou non, il n'aurait pas manqué de se faire rendre justice avant sa mort s'il eût pu revendiquer à un titre quelconque la priorité de l'invention de l'électro-aimant devenu alors d'application courante.

Après avoir parlé des expériences d'Arago et d'Ampère, de la Rive dit d'ailleurs : « *Plus tard on* essaya d'enrouler *un barreau de fer doux* courbé en forme de fer à cheval d'un fil de cuivre recouvert de soie tourné en hélice... »

Quant à la Note suivante d'Arago sur le « Principe des Télégraphes électriques », il ne faut pas oublier qu'elle est posthume, qu'elle ne se réfère plus à des expériences ayant date certaine, et qu'elle a dû, en raison même de son objet, être rédigée à une époque plus avancée de la vie du savant, alors que l'électro-aimant était entré dans la pratique.

En ce qui concerne le peu de retentissement des expériences de Sturgeon, M. Pellissier a parfaitement raison, à telle enseigne que Faraday, dans ses *Recherches expérimentales*, attribue (en 1831) l'électro-aimant au professeur Moll, d'Utrecht, qui en avait simplement acheté un de Sturgeon chez le constructeur Watkins, de Londres. Mais, dans ces conditions, on peut en dire autant de la prétendue invention d'Arago, à qui Faraday l'aurait aussi bien attribuée et qui par contre, dans l'espèce, n'aurait pas manqué de faire valoir ses droits de priorité.

Consolons-nous donc, mon cher monsieur Pellissier, de nos illusions perdues, dans l'espoir d'avoir conjointement éclairci un point intéressant d'histoire scientifique. Arago ou, pour mieux dire, Ampère peut être l'aïeul de l'électro-aimant, mais il n'en est certainement pas le père, *puisqu'il ne paraît pas avoir jamais introduit du fer dans une hélice magnétisante*, et nous pouvons rendre à M. S. P. Thompson, premier instigateur de cette courtoise polémique, la confiance que vous attachez avec raison à sa science généralement très bien documentée. Les travaux de nos deux grands savants suffisent à l'immortalité de leur génie. Serrons-nous la main en les admirant. E. BOISTEL.

BIBLIOGRAPHIE

Traité d'électricité, théorie et applications générales, par F. RODARY, ancien élève de l'École polytechnique, ingénieur civil des mines, sous-chef de division (services techniques) aux chemins de fer de P.-L.-M., in-8°, 1895, Vve *Ch. Dunod et P. Vicq*, éditeurs, Paris (20 francs).

Bien que cet ouvrage s'adresse plus particulièrement aux ingénieurs qui, n'ayant pas fait de l'électricité une étude approfondie, doivent néanmoins connaître l'ensemble de ses lois et de ses applications multiples à toutes les branches de l'industrie moderne, il sera lu également avec profit, par tous ceux que guide la simple curiosité. L'auteur a su, en effet, éviter le double écueil auquel ont si souvent échoué ceux qui ont voulu, sans y être suffisamment préparés, écrire sur l'électricité, à savoir d'être ou trop théoriques ou trop élémentaires. On ne peut songer, dans un ou-

vrage de 500 pages, étudier complètement toute la théorie et toutes les applications de l'électricité ; cette étude est, d'ailleurs, dans bien des cas, inutile ; ce n'est que par une classification méthodique et un choix judicieux des sujets traités, qu'un auteur peut obtenir un résultat utile. A ce point de vue M. Rodary a pleinement atteint son but. Nous ne lui ferons qu'un reproche ; c'est d'avoir négligé complètement les indications bibliographiques, qui, en permettant au lecteur qui désire approfondir une question de se reporter aux mémoires originaux ou aux ouvrages spéciaux, auraient considérablement augmenté la portée de son livre.

La première partie est consacrée à l'exposé de la théorie ; les lois du courant électrique, les unités de mesure, le magnétisme, l'électromagnétisme, l'induction et l'électrométrie y sont successivement étudiés. Les développements mathématiques indispensables y sont imprimés en petit caractère ; ils peuvent être négligés, dans une première lecture, sans nuire à la clarté de l'ensemble. L'électro-magnétisme, base de la plupart des applications actuelles de l'électricité a reçu une attention particulière. Nous regrettons de n'y pas voir figurer les lois de l'électrolyse.

La seconde partie contient la théorie et la description des générateurs et transformateurs de l'électricité. Elle débute par un exposé sommaire des actions mécaniques, de contact, et calorifiques, qui servait de base aux anciens générateurs. Viennent ensuite les actions chimiques, avec les piles et les accumulateurs, puis les phénomènes d'induction et la description et la théorie des dynamos à courants continus ou alternatifs, des moteurs et des transformateurs. La classification des dynamos par leur circuit magnétique d'abord, puis par leur induit, permet de décrire avec une grande clarté tous les types connus.

Ces deux parties forment les deux cinquièmes de l'ouvrage.

Dans la dernière partie, divisée en quatorze chapitres, sont décrites les applications de l'électricité à l'éclairage, à l'électro-chimie, aux applications mécaniques, à la télégraphie, à la téléphonie, et aux applications domestiques. Le transport de l'énergie par le courant, avec les systèmes de distribution y trouvent leur place. La partie relative aux applications mécaniques, comprenant la traction, la transmission dans les ateliers, les applications aux mines, à l'art militaire, à la marine, y tient une place prépondérante comme il fallait s'y attendre.

En résumé, ce Traité forme un abrégé très substantiel des applications de l'électricité, le souci de l'auteur de le tenir au courant des applications récentes, telles que les transmissions par courants polyphasés, les procédés Tesla en rendront la lecture particulièrement utile à tous ceux qui veulent se faire une opinion juste, de l'état actuel de la science électrique. Ajoutons qu'il est très bien imprimé, avec un grand nombre de belles gravures, ce qui ne nuit en rien, au contraire et est assez rare pour être signalé.

Recettes et procédés utiles (4e série), par *Gaston Tissandier*, rédacteur en chef du journal *La Nature*, 1 vol. in-12, Paris, G. MASSON, éditeur (prix, 2 fr. 25).

Ces petits volumes auxquels chacun a contribué sont aujourd'hui entre toutes les mains. Il nous suffira donc de signaler l'apparition du dernier volume de la série. Il se distingue de ses aînés par une classification plus méthodique qui rend plus aisées les recherches des renseignements qu'il contient. Les électriciens y trouveront des notes sur les sonneries électriques, les câbles, les mesures de sécurité, des expériences d'amateur et des détails de construction d'appareils faciles à établir.

G. PELLISSIER.

CORRESPONDANCE

Monsieur le Directeur,

Le numéro 24 (15 juin dernier), de votre excellent journal contient, d'après la revue *Electrician*,

un article intitulé *curieux phénomène électrique dan le vide*.

Je crois pouvoir, monsieur le Directeur, réclamer la paternité de cette modeste découverte : En effet le 22 juillet 1893 j'ai publié dans la *Lumière Électrique*, page 134, sous la rubrique *une nouvelle bouteille de Leyde*, une note mettant en évidence la propriété condensante des gaz raréfiés. Mon appareil est un simple tube contenant un gaz raréfié. Par une des extrémités pénètre une petite tige en platine, comme dans le tube de Geissler ; l'autre partie du tube est garnie jusqu'à mi-hauteur d'une feuille d'étain. Le gaz raréfié constitue l'armature intérieure, l'étain l'armature extérieure de la bouteille de Leyde modifiée.

Votre article fait aussi allusion à l'illumination qui se produit dans le tube; ici je dois reconnaître que j'ai eu tort de ne pas attirer l'attention des électriciens sur des phénomènes que j'avais constatés souvent, je puis cependant compléter les remarques du journal anglais. C'est ainsi que j'ai observé que lorsqu'on approche un tube de Geissler des spires induites d'une bobine de Ruhmkorff le tube s'illumine. De même lorsqu'on frotte, soit avec la main bien sèche, soit avec de la laine, un tube uni, on peut constater, dans l'obscurité, qu'il s'illumine.

Enfin, je crois pouvoir dire qu'il ne serait pas étonnant que les aurores polaires s'expliquassent un jour par cette facilité qu'ont les gaz raréfiés de s'illuminer lorsqu'ils sont soumis à des influences électriques.

Veuillez agréer, etc...

Léon DOPORÉ.

CHRONIQUE

Laboratoire central d'Électricité

12 et 14, rue de Staël, Paris.

ÉCOLE D'APPLICATION

Les Cours de l'École d'Application pour la session 1895-1896 commenceront au Laboratoire central d'Électricité, le 4 novembre 1895.

Les examens d'admission auront lieu en octobre conformément à un programme dont les candidats pourront prendre connaissance au Laboratoire.

Des auditeurs libres pourront être admis à suivre les cours.

Le programme de cet enseignement, destiné à donner aux ingénieurs les connaissances pratiques qu'exige l'emploi de l'électricité dans l'Industrie, comprendra :

1° Un cours de 30 à 35 leçons sur l'électricité industrielle;

2° Un cours de 20 à 25 leçons sur les mesures électriques;

3° Une série de conférences sur des questions spéciales;

4° Des exercices pratiques d'électricité;

5° Des exercices d'atelier;

6° L'établissement de projets d'installations industrielles;

7° Des visites d'usines.

Pour tous renseignements, s'adresser au Directeur du Laboratoire, 12, rue de Staël, Paris.

Le Président de la *Société internationale des électriciens.*

A. POTIER.

Société industrielle de Mulhouse.

L'assemblée générale du 29 mai dernier a approuvé le programme des prix à décerner en 1896, programme d'où nous extrayons les indications suivantes qui intéressent les électriciens :

64. *Application de l'électricité à l'impression.* — Médaille d'argent pour une application quelconque de l'électricité dans l'industrie de l'impression.

74. *Pyromètre enregistreur.* — Médaille d'argent et une somme de 500 francs pour l'invention et l'application d'un pyromètre enregistreur destiné à évaluer la température des produits gazeux de la combustion de la houille sous les chaudières à vapeur.

On demande un instrument capable d'indiquer avec une approximation d'au moins 5 p. 100 la température d'un courant gazeux dans le carneau d'une chaudière à vapeur entre les limites de 300 à 800 degrés.

L'appareil lui-même plongeant dans les gaz, l'indicateur des températures devra être placé en dehors du massif du fourneau, afin de rendre faciles les lectures directes.

Le prix ne sera décerné qu'à un appareil appliqué pendant six mois au moins à une chaudière à vapeur fonctionnant dans la Haute-Alsace.

91. *Installation de moteurs électriques.* — Médaille d'honneur pour une installation pratique réalisée dans un établissement industriel de la Haute-Al-

sace en vue de distribuer de la force motrice à un ensemble de machines ou d'appareils au moyen d'un réseau électrique alimenté par une station centrale génératrice, privée ou publique.

L'installation devra avoir fonctionné pratiquement pendant un an dans la Haute-Alsace; elle devra présenter, entre autres avantages une économie appréciable sur le mode de distribution employé auparavant : canalisation de vapeur, transmissions rigides ou autres.

La médaille sera décernée non seulement au constructeur, mais aussi à l'établissement dans lequel l'installation aura été faite.

92. *Moteur électrique à charge et vitesse variables.* — Médaille d'honneur pour un moteur électrique capable de développer un travail et une vitesse variables du simple au décuple au moins, pouvant être branché sur un réseau de distribution électrique et présentant aux vitesses variables qu'on lui fait subir, des écarts de rendement de moins de 20 p. 100. La puissance du moteur, à charge et vitesse de régime, devra être de dix chevaux au moins; son rendement, à ces charges et vitesse, devra égaler celui des moteurs électriques fonctionnant à vitesse constante.

93. *Perfectionnement des collecteurs d'armature.* — Prix pour une manière simple, pratique et nouvelle de fixer les fils d'armature aux collecteurs des dynamos.

Ce nouveau mode de fixature devra permettre de changer facilement les collecteurs et faciliter, si possible, la recherche de défauts d'isolation de fils d'armature. Il devra assurer un bon contact des fils avec les lamelles du collecteur, ainsi que c'est le cas avec la soudure, et ne devra pas endommager les fils, comme il arrive avec les vis de pression.

L'application du nouveau mode de fixation à une armature quelconque à tambour ou anneau cylindrique (Gramme) est à traiter.

Le travail devra contenir une énumération des avantages et inconvénients des systèmes employés actuellement et mettre en comparaison le nouveau mode proposé.

Le Comité se réserve de décerner, pour ce prix, une médaille d'honneur, d'argent ou de bronze, ou encore une somme d'argent suivant le mérite de l'invention.

94. *Etude comparative de l'éclairage d'une ville.* — Médaille d'honneur pour un mémoire traitant de la dépense comparative d'une installation électrique et d'une usine à gaz, destinées l'une et l'autre à fournir l'éclairage à un centre de population d'au moins 30 000 habitants.

La comparaison portera spécialement sur les points suivants :

1° Dépenses d'installation de la station centrale et de l'usine à gaz, de la distribution électrique et de la canalisation, de l'appareillage à domicile;

2° Dépenses de charbon nécessitées pour la production de force à la station centrale et la fabrication du gaz.

3. Dépenses d'exploitation et d'entretien dans les deux cas admis.

Un chapitre spécial sera consacré à l'évaluation détaillée des dépenses et des recettes résultant, dans le cas d'une usine à gaz, de la mise en valeur des sous-produits de la distillation.

Un autre chapitre traitera, en se basant sur un nombre suffisant de déterminations expérimentales, de la valeur photométrique des becs de gaz d'une consommation donnée et des lampes électriques qui leur sont couramment substituées. Il convient, en effet, dans la comparaison qu'il s'agit d'établir, de tenir compte du fait que la substitution de la lumière électrique à celle du gaz comporte généralement une augmentation du pouvoir éclairant.

94 *bis. Etude comparative de l'éclairage d'une usine.* — Médaille d'argent pour un mémoire traitant de la dépense comparative d'une installation électrique et d'une installation de gaz d'éclairage destinées l'une et l'autre à fournir la lumière à un établissement industriel.

L'installation devra comprendre au moins 300 lampes et devra, dans les deux cas, être étudiée avec soin.

Les différents genres d'éclairage électrique seront à traiter et leurs dépenses d'exploitation à comparer avec celles du gaz produit à l'usine et avec celles de la même installation branchée sur la canalisation d'une usine à gaz.

Un chapitre spécial sera consacré à la comparaison des intensités de lumière et d'éclairement obtenus dans les différents cas.

Vitesse des trains de chemin de fer à vapeur. — Nous avons déjà signalé, à plusieurs reprises, les vitesses très grandes atteintes parfois par les locomotives qui prouvent la possibilité d'atteindre

avec des locomotives électriques, sur les voies ordinaires, des vitesses encore supérieures. *Engineering* signale de nouveaux essais qui viennent d'avoir lieu sur la ligne de Pennsylvanie en Amérique, et qui offrent un intérêt particulier en raison des circonstances dans lesquelles ils ont été faits et de leur durée.

Ce train spécial, pour les journaux, partit de Philadelphie, à destination d'Atlantic City, *viâ* Camden, le 21 avril dernier. Il consistait en un wagon mixte à voyageurs et à bagages, et une locomotive P. 1658.

Cette locomotive et le wagon avaient été pris au hasard dans le matériel du service régulier et n'avaient été, ni l'un ni l'autre, construits en vue d'un service extra-rapide. La locomotive avait remorqué la veille le train de 4 h. 10 m. du soir, à destination d'Atlantic City, et elle avait été renvoyée à Camden le même soir, pour ce voyage spécial.

Ses principales dimensions sont les suivantes :

Nombre d'axes moteurs.	2.
Diamètre des roues motrices.	193 cm.
— des cylindres.	48 1/4 cm.
Course des pistons. . , ...	61 cm.
Pression de la vapeur	12,30 kg. par cm².

Le poids total de la locomotive en service était de 55 660 kg. ; le combustible employé était de la houille bitumeuse.

La distance entre Camden et Atlantic City est de 93,8 km.; la durée du trajet 45 m. 3/4, ce qui donne une vitesse commerciale moyenne de 125 km. à l'heure. La distance entre Liberty Park et Absecon, soit 80,15 km. fut parcourue en 37 m. 1/2, soit à raison de 128 km. par heure; entre Berlin et Absecon, la vitesse moyenne pendant 25 m., 3/4 fut de 133,4 km. par heure. Enfin, la plus grande vitesse enregistrée correspond à un parcours de 1 mille (1 609 m.) en 41 secondes, soit 141,25 km. par heure.

Utilisation de la force motrice du vent. — Après avoir mentionné l'installation électrique avec moulin à vent qui actionna le phare de Sainte-Adresse au Havre il y a quelques années, l'*Industrie électrique* nous apprend qu'une installation du même genre fonctionne avec un plein succès en Angleterre depuis deux ans et sans nécessiter une surveillance suivie.

Le seul inconvénient est la faiblesse du vent pendant les quelques mois d'été : on doit un peu économiser la lumière pendant cette période, ce qui tient à ce qu'on a voulu utiliser telles quelles les ailes d'un moulin existant, trop petites, n'ayant que 6 mètres de diamètre.

Cette aile est reliée au moyen de deux roues d'angle, à une dynamo d'une puissance de 3 chevaux qui charge une batterie d'accumulateurs de 46 éléments et d'une capacité de 200 ampères-heure.

Il faut éviter naturellement que la dynamo reste en circuit lorsque la vitesse du vent est trop faible pour produire une force électromotrice *au moins* égale à celle de la batterie, car sans cela ce seraient les accumulateurs qui débiteraient sur la dynamo en se déchargeant; à cet effet, un *conjoncteur-disjoncteur* est disposé sur le circuit de telle façon que si la force électromotrice de la dynamo tombe au-dessous de 100 volts, le circuit est rompu, tandis qu'au contraire, dès que le voltage remonte au-dessus de cette valeur, le circuit est automatiquement rétabli.

Il est aussi nécessaire que des dispositions soient prises pour utiliser les vents un peu forts sans que le voltage de la dynamo s'élève dans des proportions trop considérables et corresponde à des courants trop intenses pour la bonne conservation des accumulateurs. A cet effet, les inducteurs comportent non pas seulement comme d'habitude un enroulement unique placé en dérivation aux bornes de l'induit, mais encore un second, d'un petit nombre de tours, traversé par le courant total, et enroulé en sens inverse du premier, de manière à *diminuer* le champ. Plus le courant est intense, et plus l'action négative de ce second enroulement est grand : on conçoit donc qu'en le proportionnant convenablement, on puisse faire en sorte que la différence de potentiel obtenue soit sensiblement constante. Ainsi, la vitesse du moteur dépend de la vitesse du vent, mais non la tension qui reste sensiblement constante.

Avec un vent modéré de 16 kilomètres à l'heure, soit 4 m. 50 par seconde, la dynamo donne 3,5 ampères sous 110 volts. Avec une vitesse double, l'intensité monte à 18,25 ampères et le voltage seulement à 112 volts.

Cette installation suffit presque toujours largement, à l'éclairage de quatre bâtiments comprenant 137 lampes dont 40 brûlent souvent simultanément.

Enfin, renseignement qu'on trouve trop peu fréquemment dans ces sortes de descriptions, le prix de l'installation complète est de 10 000 francs.

Précautions à prendre dans l'emploi des accumulateurs. — Comme dans le montage des batteries d'accumulateurs on est obligé de manier de l'acide sulfurique, il est bon d'indiquer les principales précautions à prendre pour éviter les accidents. Les voici résumées d'après la *Revue universelle :*

On enduira les chaussures d'un mélange de paraffine et de cire d'abeille, mélange très plastique. On mettra un tablier en grosse toile doublée de flanelle ordinaire. Les vêtements de travail seront en laine et cousus avec de la laine; la laine n'est en effet presque pas attaquée par les acides. La chemise devra être préalablement trempée dans une dissolution concentrée de carbonate de soude, puis ensuite bien séchée.

Grâce à ces précautions, les vêtements sont très bien garantis. Il faut, néanmoins, avoir toujours à portée de la main un flacon d'ammoniaque, en prévision du cas où une goutte d'acide viendrait à jaillir sur les vêtements; il suffit alors de déboucher le flacon et d'appuyer le bouchon humide sur l'endroit atteint pour neutraliser l'acide et éviter qu'un trou ne se forme dans l'étoffe.

Pour éviter les brûlures que produit l'action corrosive de l'eau acidulée, il faut avoir en permanence dans le local des accumulateurs, un seau plein d'eau rendue fortement alcaline par du carbonate de soude et dans lequel on peut tremper de temps en temps les mains afin de les protéger.

Enfin, il est très utile d'installer dans ce local une prise d'eau et un évier.

L'éclairage électrique à Bruxelles. — L'administration communale de Bruxelles vient de faire connaître les résultats de la première année d'exploitation des stations centrales.

Le 5 décembre 1894, l'Etat conclut avec la ville de Bruxelles une convention pour l'éclairage de ses principaux bâtiments; ce qui fit décider la construction d'une usine secondaire, qui fonctionnera au mois de juillet, pour éclairer les ministères, les quartiers Léopold et Notre-Dame-aux-Neiges.

On étudie l'éclairage électrique de l'avenue Louise.

A fin de décembre 1894, les frais de premier établissement s'élèvent à 2 198 832 francs.

Pour l'exercice de 1894, les dépenses d'exploitation atteignent 83 672,85; les recettes 146 548,95, ce qui donne un bénéfice brut de 62 876,10.

L'intérêt et l'amortissement du capital de premier établissement sont donc couverts à raison de 2,86 p. 100.

Si l'on ne tenait pas compte de l'éclairage public de la grande place et de l'Hôtel-de-Ville, le capital de premier établissement serait couvert à raison de 3,64 p. 100.

Le prix de l'hectowatt-heure (production et distribution) atteint 0,033.

La station centrale n'utilise comme combustible que le coke, l'usine à gaz de la ville de Bruxelles le lui fournit à raison de 0,637 l'hectolitre.

La canalisation électrique de la ville est de 13 981 mètres sur lesquels sont greffés 149 branchements, dont 146 pour les abonnés.

Le nombre des lampes installées, toutes réduites à celles de 16 bougies est de 11 635, soit 84 lampes par 100 mètres de rues canalisées.

Le maximum du débit de l'usine a été atteint le 22 décembre, il a été de 2 116 ampères, ce chiffre correspond à un éclairage simultané de 36 p. 100 de lampes installées.

1 570 527 hectowatt-heure ont été vendus aux abonnés, donnant une recette de 129 510,20, soit 0,0823 comme prix moyen de vente de l'hectowatt-heure.

Le 6 août 1894, le Conseil communal a abaissé de 0,10 à 0,08 le prix de l'hectowatt-heure.

En outre, les abonnés jouissent de réductions proportionnelles à leurs consommations.

La ville se facture à elle-même son éclairage électrique de l'hôtel de ville, de la permanence, de ses bureaux installés dans la maison du Roi, à raison de 0,05 l'hectowatt-heure.

L'électricité intervient dans l'éclairage public pour 2 lampes de 20 ampères à la grande place, et pendant l'été de 32 de 12 et 2 de 8 ampères au parc.

Détail intéressant à noter, les ventes de l'usine à gaz municipale ont diminué de 500 000 mètres cubes de gaz qui ont été remplacés par l'éclairage électrique.

Les réductions de consommations produites par le bec Auer ont été compensées par les 380 abonnés nouveaux que s'est fait la ville.

L'Éditeur-Gérant : GEORGES CARRÉ.

Paris. — Imprimerie L. MARETHEUX, 1, rue Cassette.

Tome IV. Samedi 27 Juillet 1895. 2e Année. — N° 30

L'Éclairage Électrique

REVUE HEBDOMADAIRE D'ÉLECTRICITÉ

DIRECTEUR SCIENTIFIQUE : J. BLONDIN

SECRÉTAIRE DE LA RÉDACTION : G. PELLISSIER

CHEMINS DE FER ET TRAMWAYS ÉLECTRIQUES[1]

II. — TRAMWAYS.

Moteurs — Trucks — Contrôleurs

L'usage a fait prévaloir l'emploi de deux moteurs, généralement de 25 chevaux, sur chaque voiture de tramway. Cette pratique se justifie pleinement lorsque la voiture motrice doit remorquer plusieurs wagons, que la vitesse doit atteindre des limites élevées, que la voie présente des rampes importantes ou bien encore, lorsque, à charge et à vitesse moyennes, la fréquence des arrêts exige des démarrages très rapides absorbant une puissance considérable. Mais dans bien des cas, il y aurait avantage à n'employer qu'un seul moteur sur une même voiture, afin de diminuer la dépense et d'augmenter le rendement. Comme il faut, dans ce cas, attaquer les deux essieux assez éloignés, afin de rendre l'adhérence totale, les conditions mécaniques à réaliser sont assez délicates. Nos lecteurs ont été tenus au courant des différentes dispositions proposées, au fur et à mesure de leur apparition : quelques-unes ont été mises en service courant; voici quelques dispositions récemment proposées.

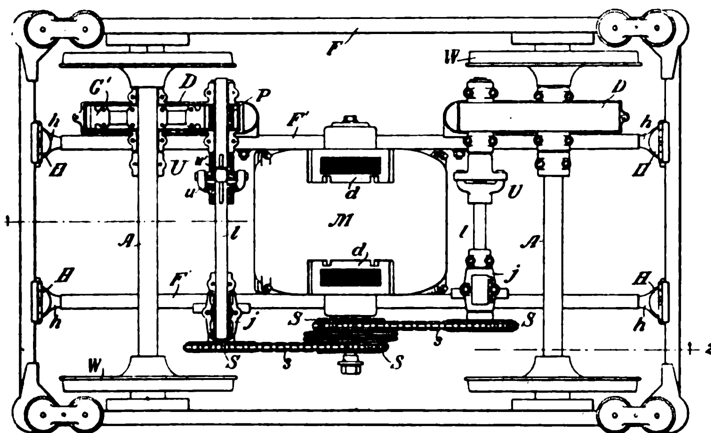


Fig. 16. — Truck Lundell et Johnson à un seul moteur.

MM. *Robert Lundell* et *Edward Johnson* suspendent le moteur M (fig. 16), sur une plate-forme qui repose sur deux barres latérales F' F' attachées au cadre du truck par l'intermédiaire de coussins élastiques en caoutchouc qui amortissent les chocs. Le moteur est placé au centre du truck et son axe est dirigé transversalement par rapport à la voie. Le mouvement est transmis aux roues motrices W par l'intermédiaire de chaînes S et de roues dentées PD. Les paliers *j* des arbres *l* qui portent à une extrémité le renvoi S de la transmission par chaînes et à l'autre extrémité le pignon P de l'engrenage d'entraînement, sont montés sur

[1] Voir l'*Eclairage Electrique* du 13 juillet, p. 49.

la barre transversale F'. Ils sont ajustables au moyen de boulons, afin que la tension des chaînes *s* puisse être modifiée convenablement. L'arbre *l* est en deux partie réunies par un joint universel V. Les paliers voisins des pignons P sont fixes sur la seconde barre F'. Ces dispositions permettent de compenser dans une certaine mesure les variations provenant de l'usure. Tous les paliers sont d'ailleurs munis de coussins élastiques en caoutchouc afin d'amortir à peu près complètement les chocs si préjudiciables dans ces sortes de transmissions.

Dans une autre disposition, l'axe du mo-

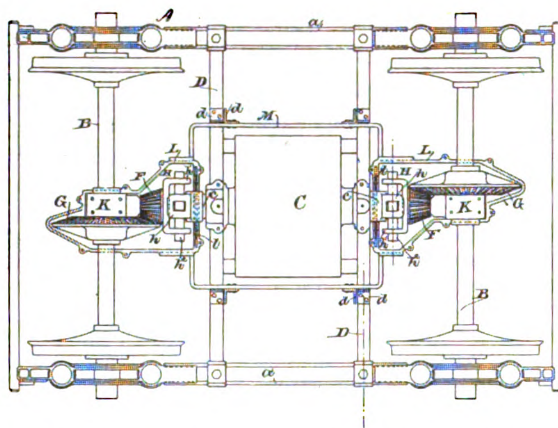


Fig. 17. — Truck de la Thomson Houston Electric Company à un seul moteur.

teur, parallèle à la voie, attaque par chaînes à ses deux extrémités les pignons des roues à angle qui entraînent les roues motrices. Ces pignons sont montés sur des arbres creux, enfilés sur un arbre fixe parallèle à la voie. Dans tous les cas, les transmissions sont noyées dans l'huile.

Dans la disposition adoptée par la *Thomson Houston Electric Company*, le moteur C (fig. 17) est également supporté par des barres transversales D D, suspendues au cadre *a a* du truck par des coussins élastiques E E' (fig. 18). L'arbre *c* du moteur est parallèle à la voie; il attaque les arbres B des roues motrices, à ses deux extrémités, par des roues d'angle F, G. Les arbres B, B sont tenus rigidement dans la carcasse A du truck, afin d'être tenus approximativement en alignement. Afin que les chocs ne se transmettent pas au moteur et aux transmissions, l'arbre *c* attaque les engrenages F G par l'intermédiaire d'accouplements élastiques H *h* (fig. 17 et 19). Les engrenages et les accouplements sont noyés dans l'huile; leurs enveloppes L sont

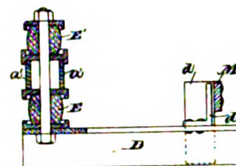


Fig. 18. — Détail des coussins.

reliées par un cadre M qui n'est pas rigidement fixé aux barres de support DD, mais y est engagé par des guides *d*, qui empêchent toute dérive nuisible du moteur et du cadre. Les pignons F sont montés à une extrémité dans des paliers K et à l'autre, dans les enveloppes L.

Une voiture de tramway à accumulateurs, à pleine charge, avec 50 voyageurs, pèse environ 16 tonnes. Si l'on emploie un truck radial, l'essieu directeur devant être chargé d'environ 2 tonnes pour adhérer convenablement à la

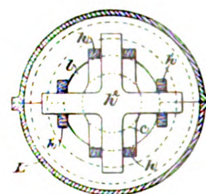


Fig. 19. — Accouplement élastique.

voie, chacun des essieux moteurs portera 7 tonnes, ce qui entraîne une grande fatigue de la voie. Pour remédier à cet inconvénient, MM. *M. Johannet* et *G. Dupont* proposent de monter la voiture sur deux boggies à 4 roues et de rendre chaque essieu moteur, chaque boggie n'ayant qu'un seul moteur. Pour cela, ils relient l'un des essieux à l'armature et l'autre aux inducteurs, ces deux par-

ties du moteur étant rendues mobiles; des trains d'engrenage assurent l'entraînement

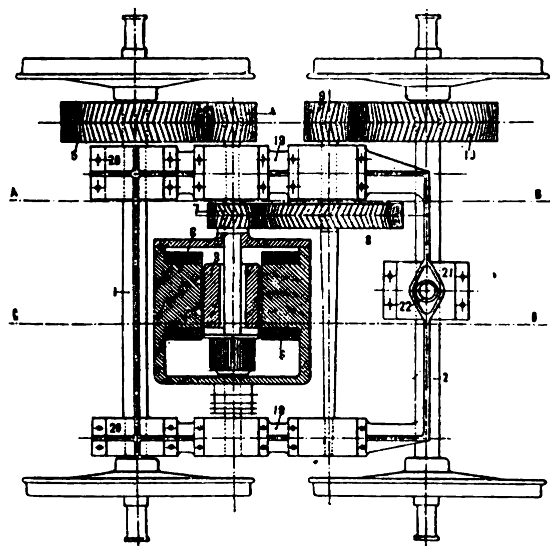


Fig. 20. — Boggie de MM. Johannet et G. Dupont.

dans une direction uniforme (fig. 20). Chaque essieu étant moteur, l'adhérence est maxima; la pression sur chaque essieu n'est plus que de 4 tonnes au lieu de 7, et l'emploi des boggies facilite le passage en courbe.

Le contrôleur de la *Thomson Houston Electric Company* permet d'effectuer simplement les manœuvres que comporte le groupement des moteurs d'un tramway en série ou en dérivation, l'introduction, dans chaque cas, de résistances appropriées, pour modifier la vitesse, et le renversement de la direction.

Il se compose (fig. 21) d'une suite de contacts convenablement réunis entre eux et avec la ligne, le rhéostat, les moteurs et la terre, et d'un levier de manœuvre *c* portant des ponts de contact R, F, E', F², F⁴, E². Un exemple en fera comprendre le fonctionnement. Lorsque le levier *c* est dans la position 1, il ne touche aucun contact, et les moteurs sont au repos. Supposons que le levier *c* occupe la position 2. Le courant amené par le trôlet T et le fil *f* dans les lames *l* passe par R et la lame *r* dans le rhéostat *r'* qu'il traverse en entier; de là il passe

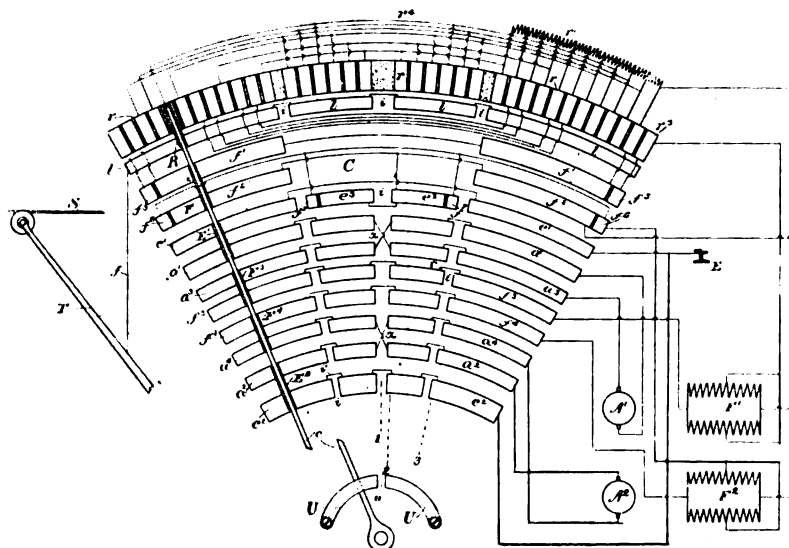


Fig. 21. — Schéma des circuits du contrôleur Thomson Houston à renversement de marche.

dans les inducteurs F' du premier moteur et par *f*³, F², *a*², dans l'armature A' de ce moteur; il passe ensuite par *a'*, E', *e*², *f*², les inducteurs F² du second moteur, *f*⁴, *a*⁴, l'armature A² de ce moteur, *a*², E², *e*⁴, et se rend à la terre en E. Les moteurs sont donc montés en série et toute la résistance intercalée. Si l'on pousse *c* sur les touches *r* suivantes vers la droite, jus-

qu'en i, les moteurs resteront groupés en série et la résistance sera diminuée de plus en plus; la vitesse augmentera donc. Si le levier c est porté sur les touches à droite de i, il est facile de voir que les moteurs seront groupés en dérivation, la résistance extérieure, r^1 diminuant de plus en plus lorsque le levier c est porté de plus en plus vers la droite; enfin, dans la dernière position, en r^2, f^5, f^6, une partie des circuits inducteurs est coupée, ce qui diminue l'intensité du champ magnétique et augmente encore la vitesse sur le groupement en dérivation sans résistance.

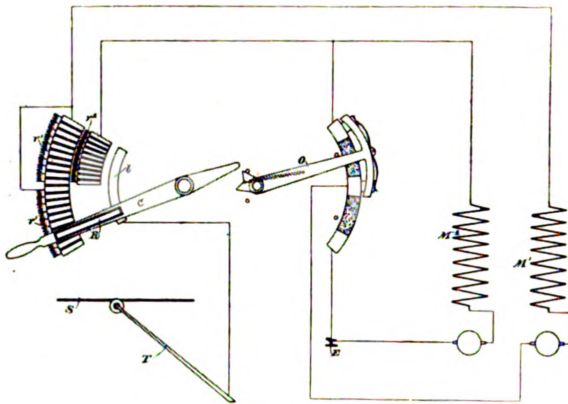


Fig. 22. — Contrôleur simple de Thomson Houston.

La partie du contrôleur à gauche de l'axe 1 est symétrique à la partie droite, et son fonctionnement est le même; seulement les communications avec les armatures A', A² sont interverties, ce qui permet de renverser le sens de la marche au moyen du même levier c.

Si l'on supprime le renversement de marche, le contrôleur peut se simplifier beaucoup, comme le représente la figure 22. Dans la position figurée les moteurs sont groupés en série et une partie de la résistance intercalée. Si le levier c est reporté vers le haut de façon à mettre en communication les touches r^1 et r^2, le commutateur à trois directions O est automatiquement reporté vers le bas et les moteurs sont groupés en dérivation.

Une troisième disposition sur laquelle nous n'insisterons pas permet d'effectuer le groupement des armatures soit en série, soit en dérivation, les inducteurs restant montés en dérivation.

Canalisations souterraines.

En 1883, *Ch.-William Siemens* prit, en Angleterre, un brevet pour le système suivant de tramway électrique à canalisation souterraine.

La conduite est formée de fers cornières 1, placés de façon à former une chambre souterraine munie à sa partie supérieure d'une ouverture longitudinale 2, par où passe la tige

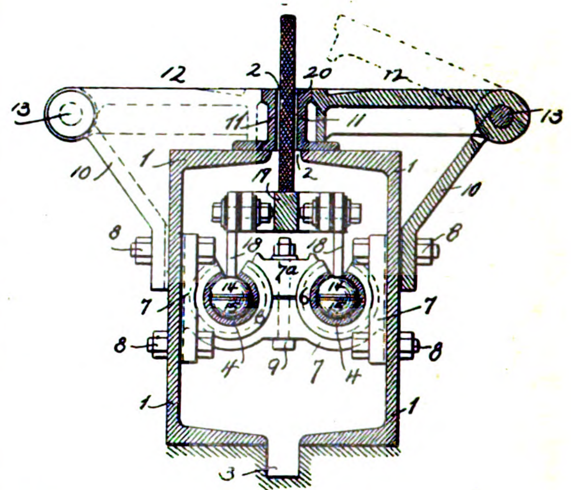


Fig. 23. — Canalisation souterraine Ch.-W. Siemens. Coupe transversale.

du trôlet, et à sa partie inférieure d'une ouverture longitudinale 3 servant au drainage. Les conducteurs du courant 4 sont formés par des tubes en cuivre fendus sur toute leur longueur suivant une génératrice; ils sont supportés, de distance en distance, par des isolateurs 6, supportés par des ponts en fer 7 qui servent également à maintenir l'écartement des parois de la conduite. A l'intérieur de ces conducteurs se meuvent les contacts, 14, 15, reliés à la tige 19 du trôlet portée par la voiture (fig. 23 et 24).

Après la mort du savant électricien, la *Guarantee Trust and Safe Deposit Company*, de Philadelphie, demanda, 19 octobre 1893, un brevet en Amérique. Ce brevet porte le nu-

méro 520 356, et la date du 22 mai 1894. Les « claims » en sont à citer en entier; elles ne tendent à rien moins qu'au monopole des canalisations souterraines pour tramways électriques : « La demande n'est pas limitée à la construction précise décrite, puisque Charles-William Siemens est considéré comme ayant inventé le principe fondamental d'une conduite souterraine placée entièrement sous la surface du sol (*is considered to be the inventor, broadly, of an underground conduit*, etc.) (¹), et dans laquelle sont placés un ou plusieurs conducteurs isolés de la terre

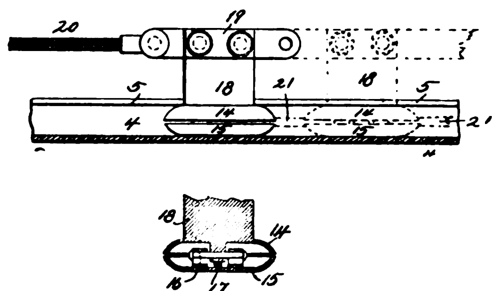


Fig. 24. — Canalisation souterraine C. W. Siemens. Détail des contacts.

et un ou plusieurs contacts passant le long de ce ou de ces conducteurs et reliés à une voiture munie électriquement qui avance sur le sol parallèlement à la conduite... »

Le problème, si important pour la traction électrique dans les grandes villes, des conduites souterraines, continue à attirer beaucoup l'attention des ingénieurs.

M. *Henry-Percy Holt* dispose le conducteur continu C (fig. 25, 26 et 27) dans une canalisation souterraine complètement fermée disposée sous la voie et parallèlement aux rails. Ce conducteur repose sur des isolateurs A; il peut être recouvert, en outre d'un isolant, sauf aux points R où doivent se faire les prises

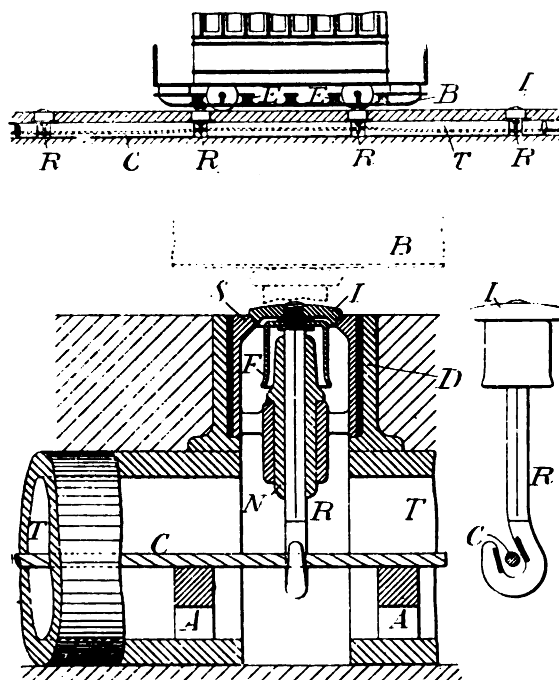


Fig. 25, 26 et 27. — Canalisation souterraine électromagnétique H.-P. Holt. Coupe longitudinale et détail des contacts.

de contact. Celles-ci se font de la façon suivante : la voiture porte une barre B s'étendant sur toute sa longueur et qui est aimantée par

(¹) Le premier essai pratique de traction électrique à canalisation souterraine semble devoir être attribué à l'inventeur américain Stephen-D. Field. En 1877, il vivait à San Francisco. On venait d'installer dans cette ville la traction funiculaire alors toute nouvelle. Field avait eu connaissance des expériences de M. Fontaine, à Vienne, en 1873. Il résolut de remplacer la traction funiculaire par la traction électrique. Il voulut employer une dynamo. L'industrie électrique était alors si peu avancée aux Etats-Unis qu'il ne put se procurer de dynamos dans son pays et dut les faire venir d'Europe; elles furent embarquées sur un bateau à voiles en partance pour San Francisco; le navire sombra et toute la cargaison fut perdue. L'inventeur ne se découragea pas et fit venir d'Europe de nouvelles machines; il les essaya, construisit un ascenseur électrique, et des tramways. Ces essais lui avaient pris beaucoup de temps et demandé beaucoup d'argent. A bout de ressources, il vint à New-York, en 1879, soumettre ses plans aux spécialistes et tâcher de réunir les capitaux nécessaires à l'exploitation de son invention qui consistait en un tramway à canalisation souterraine ce qui n'a rien d'étonnant, étant donné que Field voulait remplacer les tramways funiculaires par son système.

Celui-ci, d'après M. Franck-L. Pope, à qui il le présenta tout d'abord, était excellent. M. Pope écrivait, il y a peu de temps encore :

« Le seul tramway établi d'après ses plans et qui fonctionne actuellement en Amérique est regardé par les juges compétents comme supérieur à bien des égards à tous les systèmes présentés jusqu'ici. »

un certain nombre d'électro-aimants E ; cette barre B passe près du sol ; elle attire le chapeau en fer I de tiges conductrices R qui descendent dans la conduite et sont isolées du sol en S, N et F. La tige R étant soulevée vient au contact du câble C par son crochet inférieur et conduit le courant dans la voiture. Le câble est légèrement soulevé par le même crochet afin d'assurer un meilleur contact électrique. La distance entre deux tiges consécutives R est moindre que la longueur de la voiture afin que celle-ci soit toujours en contact avec au moins une d'elles.

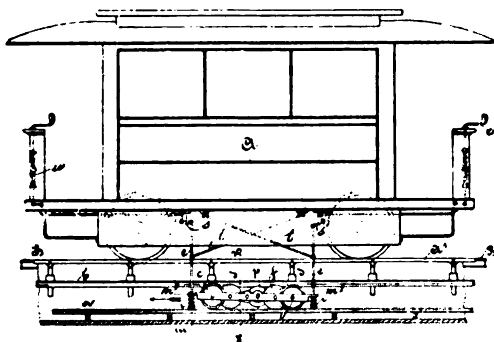


Fig. 28. — Canalisation souterraine Simon et Beissbarth, à chariot moteur. Coupe longitudinale.

MM. *Simon* et *Beissbarth* pensent pouvoir ne placer aucun moteur sur la voiture *a* A (fig. 28, 29 et 30). Le moteur *p* qui entraîne la voiture est placé dans la canalisation souterraine sur un chariot *f* qui sert en même temps à établir la prise de courant et qui est relié à la voiture par des tiges rigides *e*, *e* passant par l'ouverture supérieure A, A' de la conduite. Le chariot moteur comporte quatre roues motrices *c* qui roulent sur des rails ordinaires *a* à la partie inférieure de la conduite ; les deux paires de roues motrices sont entraînées par le moteur *p* chacune en des directions opposées, au moyen de chaînes ; les conducteurs *b* sont placés à la partie supérieure de la canalisation ; des trôlets *d*, portés par le chariot moteur, peuvent venir en contact avec ces conducteurs. Lorsqu'on doit mettre la voiture en marche, les tiges *e* sont reliées aux leviers *w* placés sur la voiture ; le mécanicien, en tournant la manivelle du levier d'avant de la voiture, soulève l'extrémité correspondante du chariot. Les roues *c* viennent en contact avec le conducteur *b*, et le moteur se met en marche : les roues motrices d'arrière frottant plus ou moins sur les rails *a* suivant que le chariot est plus ou moins soulevé, entraînent la voiture avec des vitesses différentes. Pour arrêter la marche, il suffit d'abaisser complètement le chariot ; pour renverser la direction, il suffit de soulever le chariot en sens opposé par la manivelle d'arrière.

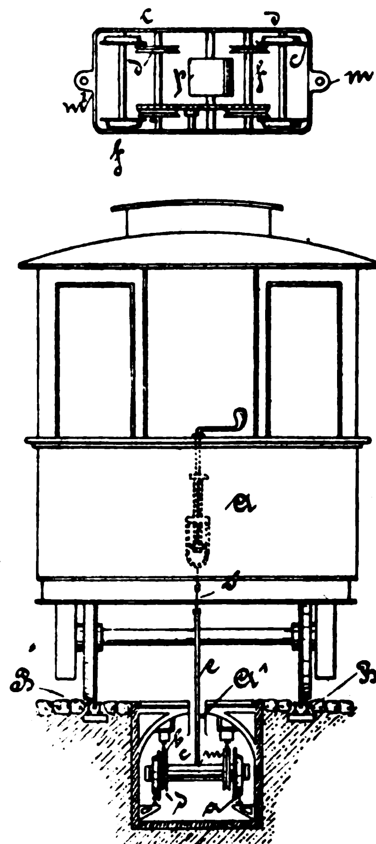


Fig. 29 et 30. — Canalisation souterraine Simon et Beissbarth. Coupe transversale et détail du chariot.

Dans le système de M. *T. Armat*, la conduite souterraine est placée dans l'entre-voie (fig. 31, 32, 33, 34) ; elle est munie de drains c^3 et la partie centrale est couverte par des plaques métalliques b^5, faciles à retirer pour l'inspection et les réparations. De chaque côté

se trouvent les ouvertures longitudinales I par lesquelles passent les tiges des trôlets H. La conduite est divisée de distance en distance par des cloisons verticales C munies d'une ou-

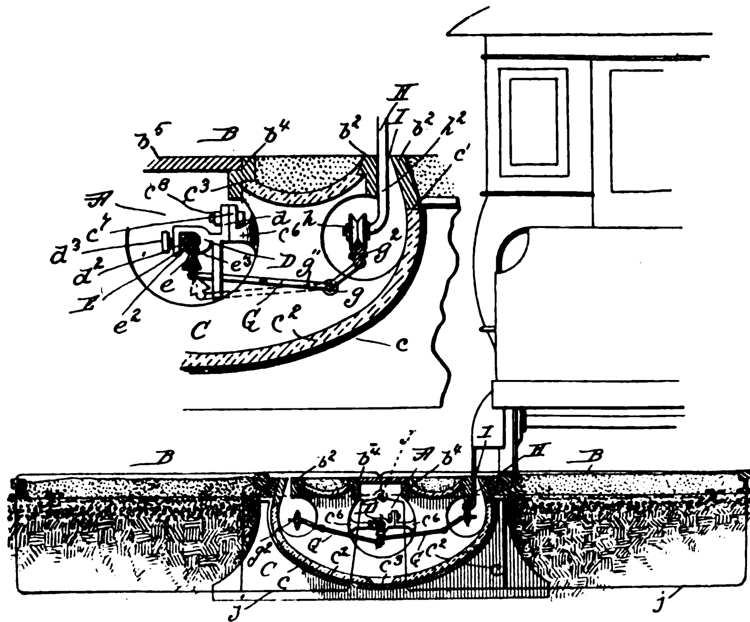


Fig. 31 et 32. — Conduite souterraine T. Armat à sections et à contact instantané. Coupe transversale et détail.

verture centrale et de deux ouvertures latérales plus petites. Le conducteur principal E est placé au centre de la conduite; il est pris à chaque cloison dans des crampons D dont il

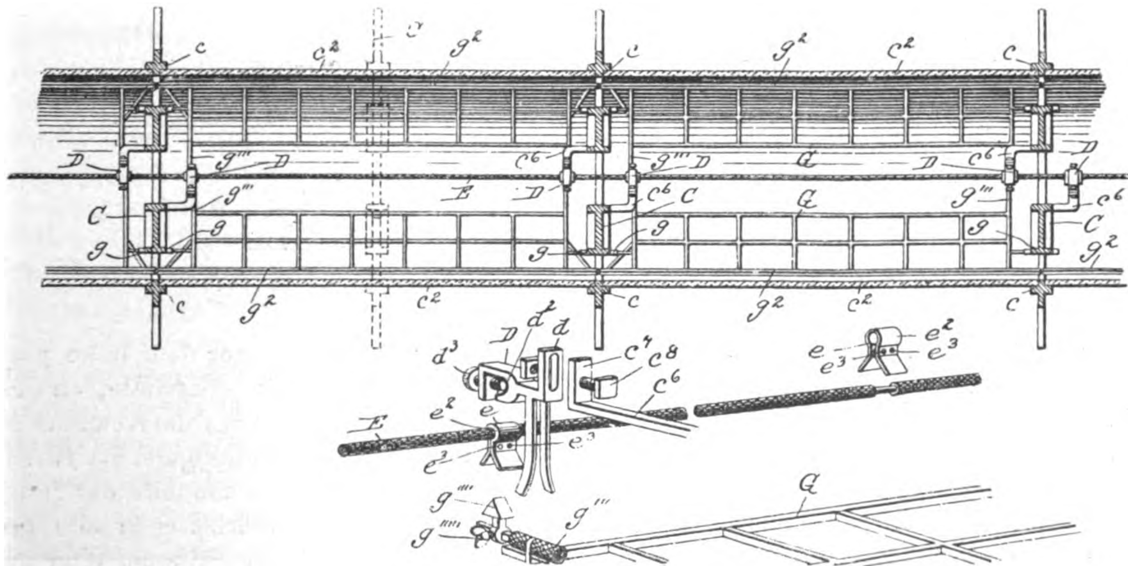


Fig. 33 et 34. — Canalisation T. Armat. Plan et vue perspective des prises de courant.

est isolé. Il est revêtu sur toute sa longueur d'une enveloppe isolante, sauf près de ces crampons, où il est mis à nu sur une petite longueur; des pinces métalliques terminées

en bas en forme de V renversé le saisissent en ces points dénudés; ces pinces servent aux prises de contact de la façon suivante : un levier G, pivoté en g et isolé avec soin est terminé sous le conducteur par une tête en V et

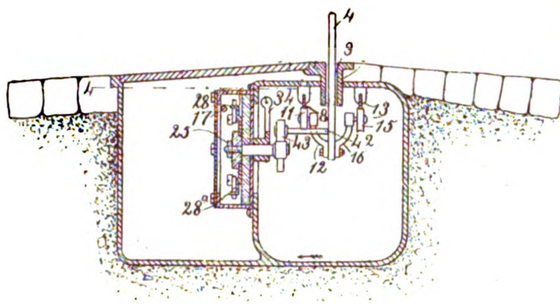


Fig. 35. — Canalisation O.-A. Enholm, à conducteur sectionné. Coupe transversale.

à l'autre extrémité par le conducteur de service g^2 sur lequel roule le trôlet; en temps ordinaire, ce levier est abaissé comme le représente la position en traits pointillés; lorsque le trolley passe sur le conducteur g^2, il fait basculer ce levier et le contact est établi. Le conducteur de service g^2 est monté sur une carcasse en tubes de fer G (fig. 33) qui pivote avec le levier G et dont il est soigneusement isolé; il est divisé en sections de la longueur des sections de la conduite entre deux cloisons verticales successives. Chacune de ces sections est abaissée successivement par le passage de la voiture, et se relève ensuite, en sorte que les

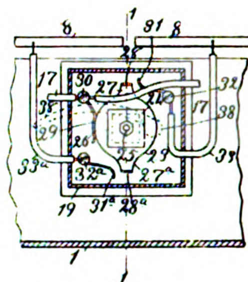


Fig. 36. — O. A. Enholm. Détail du commutateur.

contacts ne sont établis que sur les parties de la voie occupées par les voitures. Une disposition identique est adoptée de l'autre côté de la conduite, pour le service des voitures fonctionnant sur la voie opposée. Cette disposition, comme la suivante a pour but de réduire au minimum l'influence de l'humidité et des dérivations qui en sont la conséquence, en

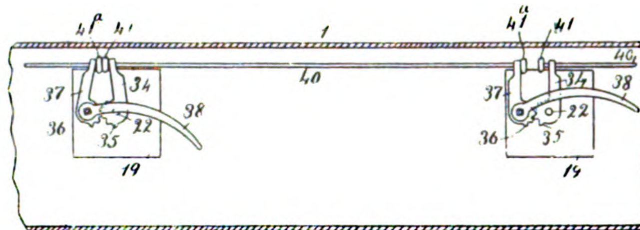


Fig. 37. — O.-A. Enholm. — Manœuvre automatique des commutateurs.

permettant d'isoler le conducteur principal du courant sur toute sa longueur, sauf certains points où se font les contacts momentanés et qui sont entièrement plongés dans l'air.

M. *O.-A. Enholm* réalise la connexion des sections successives des rails de contact 8, 8, figures 35, 36 et 37 par le procédé mécanique suivant. Tous les 6 mètres environ, des boîtes hermétiques 19 contiennent un commutateur 25 qui est manœuvré, dans l'intérieur de la conduite, mais à l'extérieur de la boîte, par un levier recourbé 38 qui commande, en outre, les leviers 37 et 34 dont les mouvements sont rendus solidaires par engrenage. La barre du trôlet 4, pénètre dans la conduite par l'ouverture longitudinale supérieure 3; elle porte trois bras; le premier 12 est muni d'un galet de roulement 11 qui prend contact avec les conducteurs sectionnés 8 et sert de prise de courant; le second 16, est muni d'un galet de roulement 15, qui frotte sur le rail continu 13,

et sert au retour du courant; enfin, le troisième, 42 est destiné à la manœuvre des leviers 38. Lorsqu'un de ceux-ci est abaissé, le commutateur correspondant, 25 établit en 28 et 28^a, au moyen des ressorts 31 et 31^a, le contact avec les conducteurs 8, 8; le courant est amené par le feeder 17 et le ressort 29. Comme il y a deux sections contiguës chargées à chaque manœuvre des leviers 38, la voiture peut marcher dans un sens ou dans l'autre, à volonté. Lorsque le levier 38 est abaissé, il reste dans cette position et le courant passe jusqu'à ce que, la voiture atteignant la section suivante, le levier correspondant soit abaissé à son tour, ce qui a pour effet de ramener le premier dans sa position primitive, au moyen des tiges rigides 40, solidaires des leviers 34 et 37.

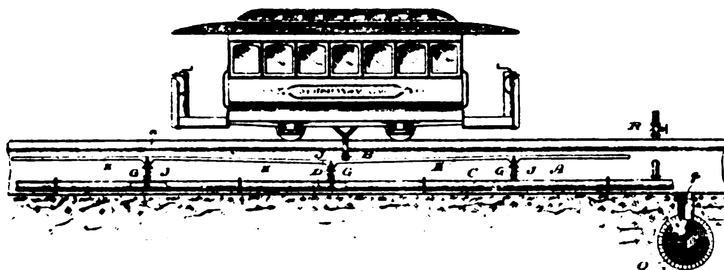


Fig. 38. — Brand et Franklyn. Canalisation à conducteur sectionné. Coupe longitudinale.

Dans le système de MM. *Brand* et *Franklyn*, le conducteur D (fig. 38, 39 et 40) du courant est placé dans un tube C complètement fermé où il est placé en partie dans un isolant E; sa partie supérieure seule est à nu. Ce tube D est placé dans la canalisation souterraine munie de drains *q*Q; il peut être d'ailleurs facilement ventilé. Il porte, de distance en distance des tubulures F, dirigées verticalement vers l'ouverture *a* de la conduite; dans ces tubulures peuvent se mouvoir des tiges conductrices H terminées, en bas, dans le tube D, par des sabots de contact *g*; ces tiges ou pistons sont soigneusement isolées du tube D; en temps ordinaire, elles sont maintenues soulevées par des ressorts J; elles portent chacune, à leur partie supérieure les extrémités contiguës de rails de contact K; ces rails sont pivotés chacun en 5 sur la tige G; c'est sur eux que roule le trôlet *b* porté par la tige B, solidaire de la voiture. Sous la pression de cette tige sur les rails K, les pistons H descendent au contact du conducteur D et le courant passe :

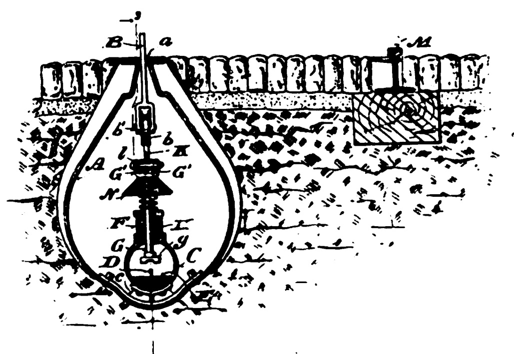


Fig. 39 et 40. — Brand et Franklyn. Coupe transversale et détail des contacts.

ils se relèvent dès que le trôlet quitte les sections de rails qui sont pivotées sur leur tête.

M. *H.-A.-F. Petersen* a cherché à éviter l'introduction des ordures et de l'humidité dans la conduite des conducteurs, de la façon suivante :

La conduite est divisée en deux compartiments latéraux B et C (fig. 41 et 42); l'ouverture supérieure *a*, par où passe la tige du

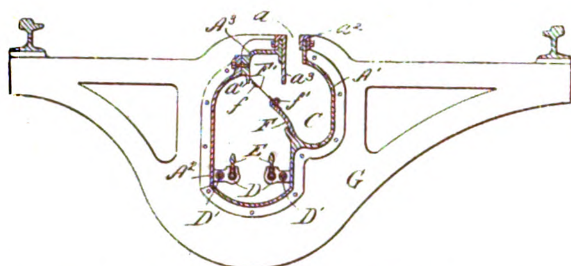


Fig. 41. — H.-A.-T. Petersen. Conduite à compartiments séparés. Coupe transversale.

trôlet est située au-dessus du second; les conducteurs de contact EE sont placés, sur des isolateurs convenables DD, dans le premier compartiment. Ces deux compartiments sont réunis sur toute leur longueur par une ouverture longitudinale F' par où passe la tige du trôlet, convenablement recourbée. Cette ouverture F est fermée, en temps ordinaire, sur

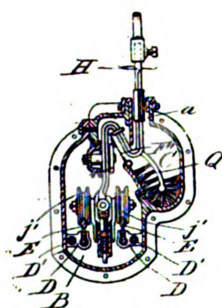


Fig. 42. — H.-A.-F. Petersen. Conduite à compartiments séparés. Disposition du trôlet et du balai.

toute la longueur de la conduite, par une cloison *f* que la tige du trôlet soulève, au moment de son passage, sur une faible longueur. Cette tige H porte, en outre, des brosses Q qui balayent la partie inférieure du compartiment C. Celui-ci est muni, de distance en distance, de drains qui communiquent avec les égouts. Toutes les impuretés et l'eau qui tombent par l'ouverture *a* s'accumulent dans ce compartiment et les brosses Q les enlèvent constamment pour les évacuer dans les égouts. L'humidité qui se condense dans le compartiment B peut être chassée grâce à une ventilation active de cette partie de la conduite, ventilation rendue possible par la fermeture de l'ouverture F' par la cloison *f*. Des ventilateurs actionnés par des moteurs électriques sont placés en des points convenables pour lancer dans la conduite un courant d'air sec et froid.

Les rails de contact E sur lesquels roulent les galets *j'j'* du trôlet sont portés par des isolateurs D, montés sur les parois de la conduite; ils sont divisés en sections qui communiquent chacune indépendamment avec les conducteurs d'alimentation D', par l'intermédiaire de plombs fusibles et de commutateurs interrupteurs placés dans des trous d'homme disposés le long de la voie aux points correspondants. La forme de la conduite et les détails de construction peuvent, d'ailleurs, être modifiés à volonté suivant les facilités d'exécution.

L'inventeur propose également le dispositif suivant pour permettre au mécanicien d'effectuer de la plate-forme de la voiture, les manœuvres d'aiguillage. Les parties mobiles des rails et des conducteurs de contact sont manœuvrées par des leviers *x*, x^2, (fig. 43 et 44) solidaires des leviers X,X^2, commandés eux-mêmes par un levier X^1. Une armature en fer doux X^2, fixée sur celui-ci peut être attirée par l'un ou l'autre des électro-aimants *x'x'* suivant que le commutateur Y, placé sur la plate-forme de la voiture, est mis en contact avec les conducteurs *y* ou *y'* dont les extrémités peuvent communiquer, au moment du passage, avec les contacts $y'y'y^2$, placés dans la conduite.

M. *W.-R. de Voe* divise également la conduite souterraine en deux parties par une cloison verticale *g'* (fig. 45); l'eau et les impuretés qui tombent par l'ouverture supérieure *e* s'accumulent dans le compartiment C'; les con-

ducteurs sont placés dans le second compar-

Fig. 43 et 44. — H.-A.-F. Petersen. Manœuvre automatique des aiguillages.

timent C. La conduite est formée de plaques

Fig. 45. — W.-R. de Voe. Canalisation à compartiments séparés. Coupe transversale.

séparées G et H, fixées sur des cloisons verticales D'D²; elle repose sur les traverses de la voie de roulement. Le conducteur de contact L a la forme d'un V placé horizontalement; il communique, de distance en distance, avec le feeder L². Le trôlet, porté par un bras coudé Q² P², est composé (fig. 46) de trois galets M' qui roulent sur le rail de contact et de deux roues isolantes M″ qui servent de guides et roulent sur le contre-rail parallèle L. Le cadre qui tient ces roues est composé de plusieurs parties articulées et montées à ressort afin d'assurer un bon contact et de faciliter le passage en courbe. Des chaînes Q'Q' sont atta-

Fig. 46. — W.-R. de Voe. Détail du trôlet.

chées au bras du trôlet, en Q, et, passant par l'ouverture *e*, viennent s'attacher à la voiture, pour faciliter l'entraînement des chariots de contact. Des drains RR servent à l'écoulement des eaux.

Dans le système de MM. *W.-E. Delabarre, F. Frazer* et *R.-A. Carrick,* la conduite en fer A'A² (fig. 47) est placée le long d'un des rails 11 qui forme une des joues de l'ouverture supérieure 10 de la conduite, à travers laquelle passe la barre du trôlet 16. Le conducteur 14 est fixé à la partie supérieure 13 de la conduite et isolé en 15; il a la forme d'un T; la roue 22 du trôlet frotte à sa partie inférieure. L'arbre 18 sur lequel tourne la roue 22 est isolé en 19 et 21 de la tige 16. La prise de courant se fait par un collier métallique 20 et un fil 17.

La culasse M (fig. 48) de la conduite de MM. *W.-T. Dulany* et *O.-F. Shaw* repose

directement sur le sol bétonné C ; elle s'étend sur toute la largeur de la voie et porte à ses extrémités latérales supérieures, des plates-formes M^1M^2 qui servent de chaises aux rails

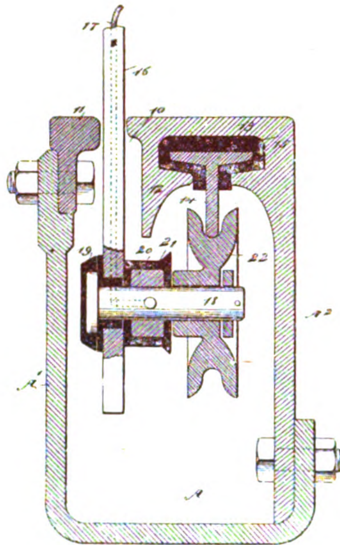


Fig. 47. — Delabarre, Fraser et Carrick. Conduite souterraine à conducteur supérieur.

E^3 ; elle est munie, vers son milieu de plates-formes M^6 qui servent de support aux parois D^2 de la conduite D. Les crampons m^3 qui supportent, au moyen d'isolateurs m^2, les conducteurs de service NN sont fixés sur les

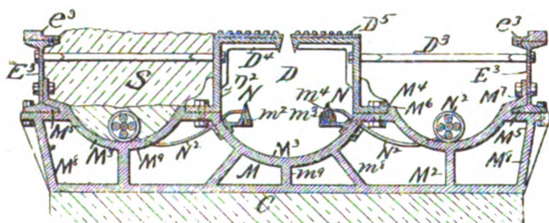


Fig. 48. — Voie et canalisation Dulany et Shaw.

parois de la cavité centrale M^3 de cette culasse. Les conducteurs N sont divisés en sections alimentées chacune par un feeder spécial N^2 ; les feeders sont contenus dans des tubes N^2 qui courent le long de la voie dans les cavités latérales M^3 de la culasse ; ils aboutissent au tableau de distribution, à la station centrale, où des appareils de mesure permettent de déterminer, en cas d'accident, la section à réparer. Des trous d'homme facilitent ce service d'entretien et de surveillance. Des drains, communiquant avec les égouts permettent l'écoulement des eaux et des poussières qui pénètrent dans la conduite.

Le trôlet (fig. 49, 50 et 51) présente quelques dispositions particulières. Il est formé

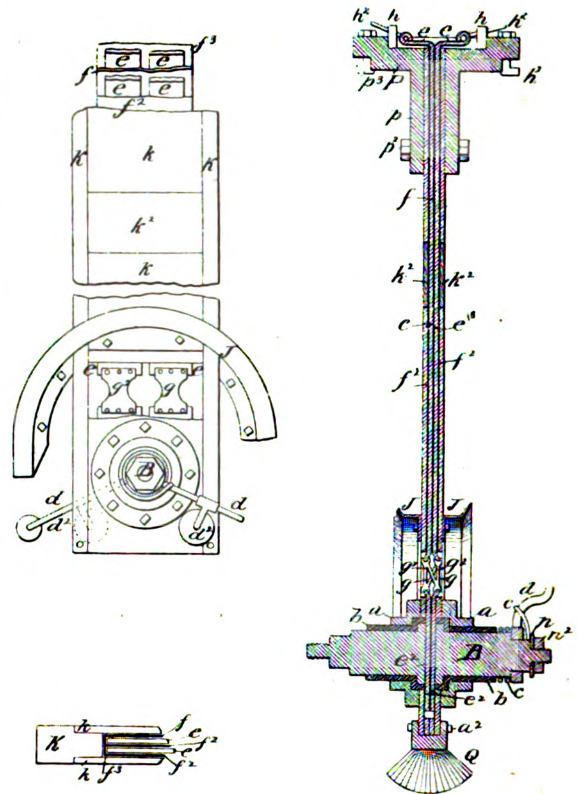


Fig. 49, 50 et 51. — Dulany et Shaw. Détails du trôlet.

d'un bras rigide à section rectangulaire K*k* dans l'intérieur duquel passent les conducteurs e,e,e^1,e^2, qui sont formés de plaques isolées par du mica en f,f^2,f^3 ; les plaques conductrices inférieures e^1,e^2, sont réunies aux plaques supérieures *ee*, par des coupe-circuits g,g^1, et celles-ci communiquent au circuit des moteurs également par des plombs fusibles *h*,*h*. Cette disposition a pour but d'éviter les accidents qui pourraient survenir si, par exemple, une des plaques latérales k^3k^2, qui frottent sur les joues de la conduite, étant trop

usée, un court-circuit venait à se produire. Les plaques inférieures e^2e^2 communiquent, chacune séparément, avec les bras transversaux BB qui portent à leur extrémité les roues de contact dd^2 qui sont pressées sur les conducteurs N par des ressorts-spirale *c*. Chaque bras *d* porte deux roues en tandem, assez écartées l'une de l'autre pour qu'aux changements de section le courant ne soit jamais interrompu.

Une brosse Q fixée à la partie inférieure du bras du trôlet balaye constamment l'eau et les poussières accumulées dans la cavité M^2 de la conduite. Une gouttière J, recourbée en arc de cercle, est disposée sur le bras du trôlet, un peu au-dessus des coupe-circuits gg^2; elle empêche l'eau qui peut pénétrer par l'ouverture de la conduite de s'écouler sur les organes électriques à découvert, tels que les coupe-circuits et les contacts.

Stations centrales. — Distribution.

On sait que le démarrage des voitures absorbe une quantité considérable de travail et que les courants excessifs qui en résultent sont à la fois nuisibles aux moteurs et aux générateurs. Le travail dépensé au démarrage se retrouve au moment de l'arrêt suivant; on a proposé de nombreux systèmes pour utiliser la force vive, absorbée par les freins dans les voitures ordinaires, pour aider ensuite au démarrage. Il y a également intérêt à ne pas appliquer, au moment du démarrage, la totalité de la force électromotrice de la ligne aux moteurs qui, ne produisant alors aucune force contre-électromotrice risqueraient d'être brûlés. Les résistances extérieures qu'on intercale sont un coûteux expédient.

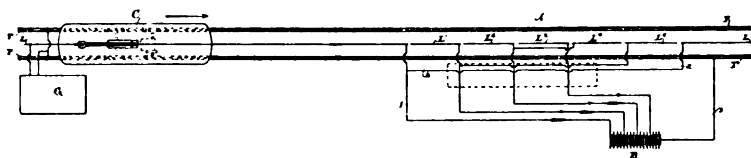


Fig. 52. — Elihu Thomson. Station d'arrêt et de démarrage.

M. *Elihu Thomson* propose de résoudre ces difficultés par le procédé suivant qui n'est applicable que si les arrêts ont lieu en des points fixes déterminés d'avance, tels que A (fig. 52). A partir de ce point et sur une certaine distance en avant et en arrière, la ligne de contact du trôlet LL est coupée. L'intervalle est divisé en un certain nombre de sections L^1, L^2, L^3, L^4, L^5; la section L^3 correspond au point d'arrêt; les autres sont disposées symétriquement par rapport à cette section centrale et les sections symétriques sont reliées entre elles par des conducteurs, ainsi du reste que les extrémités de la ligne. La longueur et le nombre des sections dépendent naturellement de la vitesse de régime, du poids de la voiture et du profil de la voie en A.

Une batterie d'accumulateurs B est montée en dérivation entre l'extrémité de la ligne LL et la terre; elle doit être composée d'un nombre d'éléments assez considérable pour que sa force contre-électromotrice totale soit supérieure à la tension du courant de distribution, afin qu'aucune dérivation permanente ne puisse s'établir par son intermédiaire; comme elle ne se charge qu'au moment du passage de la voiture C et se décharge immédiatement pour faciliter le démarrage de cette même voiture, sa capacité peut être très faible; de simples lames de plomb immergées dans l'eau acidulée suffisent parfaitement. Des dérivations sont prises, en différents points de cette batterie et reliées aux sections L^1, L^2 et L^3, comme le représente la figure.

Avec la disposition des circuits représentée sur la figure 52, les accumulateurs n'agissent que comme des résistances pour diminuer graduellement l'intensité du courant, au moment de l'arrêt ou l'augmenter au moment du dé-

marrage, afin d'obtenir un ralentissement ou une accélération convenable. Lorsque la voiture C venant dans la direction de la flèche, à la vitesse normale, quitte la section L, et pénètre dans la section L[1], ses moteurs ne sont plus alimentés directement par le générateur G; le courant passe par *1*, la première section à gauche de la batterie, la ligne L[1], avant d'atteindre les moteurs et de se rendre à la terre. La force électromotrice du courant appliqué au moteur se trouve donc diminuée de la force contre-électromotrice des éléments B introduit dans le circuit; la vitesse diminuera donc; lorsque la voiture parviendra en L[2], les deux sections à gauche de la batterie seront en circuit; il en résultera une nouvelle diminution de vitesse; l'action se continuera encore sur la section L[3], où la voiture sera facilement arrêtée en ouvrant le circuit et en appliquant les freins. Pour remettre la voiture en marche, il suffit de desserrer les freins et de fermer le circuit; le courant, affaibli par son passage à travers les trois sections de la batterie, ne pourra brûler les moteurs; le démarrage se fera lentement; lorsque la voiture parviendra en L[4], le nombre des éléments en circuit sera diminué et la vitesse augmentée; il en sera de même sur L[5] et enfin, en L la vitesse du régime sera atteinte. L'énergie électrique emmagasinée dans la batterie B ne concourt pas, dans ces conditions, au démarrage.

Si l'on veut réaliser cette condition, il faut manœuvrer les commutateurs représentés sur la figure. Les moteurs de la voiture, en arrivant en L[1], cessent complètement d'être alimentés. Ils continuent à tourner en raison de la force vive et chargent trois des sections de la batterie; en L[2], un certain nombre d'éléments sont coupés, ce qui permet aux moteurs de charger le restant, bien que la vitesse soit diminuée; enfin, en L[3], une nouvelle partie des accumulateurs est encore supprimée. Les moteurs fonctionnant en générateurs, l'arrêt est très rapide. Pour le démarrage on remet les commutateurs dans la position représentée, et le courant de décharge des accumulateurs s'ajoute au courant de distribution.

MM. *Siemens brothers and C°* proposent, pour compenser les variations de charge considérables qui se produisent dans l'exploitation des tramways électriques le procédé suivant qui donnerait des résultats pratiquement suffisants pour permettre d'alimenter un réseau d'éclairage L[4] par le même générateur B que

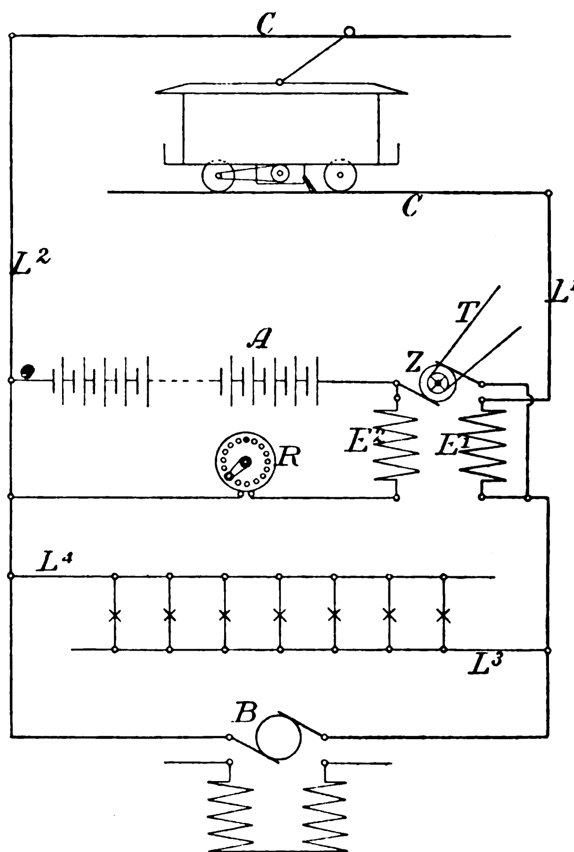


Fig. 53. — Siemens brothers. Compensateur de charge.

le réseau de traction CC, (fig. 53) ce qui serait, dans bien des cas, un énorme avantage.

Ils parviennent à ce résultat en intercalant en dérivation dans le réseau L[1] L[3], une batterie d'accumulateurs A et un compensateur Z. C'est le mode d'enroulement de celui-ci qui compose la partie originale du système. Le compensateur Z se compose essentiellement d'une dynamo à enroulement composite; elle est maintenue constamment en rotation par un moteur, une courroie T, par exemple. Un des enroulements inducteurs E[1] est en dérivation

sur le circuit principal; le second E^2 est en dérivation sur le circuit des accumulateurs. Ils sont opposés l'un à l'autre; l'enroulement E^1 tendant à créer dans l'armature un courant de même sens que la batterie A et l'enroulement E^2, un courant en sens contraire. Les nombres de tours de chacun d'eux sont réglés de façon que, le courant principal ayant son intensité

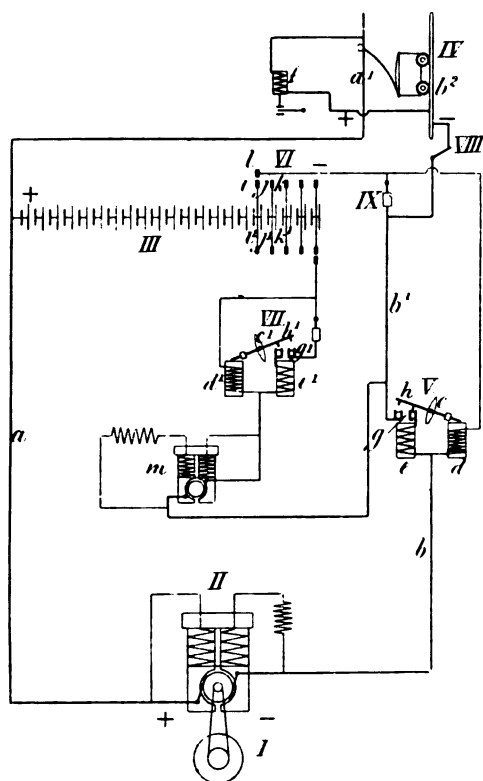


Fig. 54. — P. Schoop. Distribution par accumulateurs.

normale, les deux actions se fassent exactement équilibre. On voit dès lors ce qui se passera. Si l'intensité du courant principal augmente, un courant de même sens que celui des accumulateurs sera lancé dans la ligne par la batterie et le compensateur, sans que la génératrice B en soit affectée. Si, au contraire, le courant principal tombe en dessous de sa valeur normale, le courant en A sera tel que la batterie sera chargée.

M. *P. Schoop* dispose dans le circuit *a*, *III*, *b'*, *b* (fig. 54) de la batterie et du générateur un conjoncteur disjoncteur automatique V, dont l'aimant *c* est attiré ou repoussé suivant que le courant va de la dynamo à la batterie, ou inversement. Le levier *h*, solidaire des mouvements de cet aimant établit ou rompt le contact entre la batterie et la dynamo. Quelques éléments VI, munis d'un relais de manœuvre automatique sont ajoutés ou retranchés de façon à maintenir constante la force électromotrice de la batterie. Ces éléments sont chargés par une petite dynamo spéciale *m*, dont le circuit est muni également d'un conjoncteur disjoncteur automatique VII.

(*A suivre.*) G. PELLISSIER.

ÉTUDE
D'UN MOTEUR ÉLECTRIQUE
A COURANTS DIPHASÉS
DU TYPE BROWN, DE CINQ CHEVAUX (1)

EXAMEN DU FONCTIONNEMENT DU MOTEUR ALIMENTÉ A COURANT ET VOLTAGE VARIABLES. LA CARACTÉRISTIQUE AUX BORNES EST DONNÉE

Comme nous nous sommes servi, pour les vérifications expérimentales, de la génératrice à courants diphasés décrite dans notre article du numéro 22 de l'*Éclairage Électrique*, nous partirons de la connaissance de la caractéristique externe de cette dynamo, en supposant que cette dernière est reliée bornes à bornes au moteur. Mais remarquons que la caractéristique calculée ou levée avec une résistance extérieure sans self-induction ne peut pas servir entièrement.

En effet, si, vers les régimes de démarrage, les courants inducteurs du moteur sont à peu près en concordance de phase avec les f.é.m., il n'en est pas de même pour les autres régimes. Pour ces derniers, les courants sont décalés d'angles θ qui font varier la réaction d'induit de la génératrice, (ce sont les angles

(1) Voir l'*Eclairage Electrique* du 20 juillet, p. 114.

θ déterminés dans les calculs précédents du moteur). Ces variations de la réaction d'induit ne dépendent évidemment aucunement de la génératrice, mais bien de la self-induction du circuit extérieur.

Nous pouvons montrer très facilement que cette variation existe et nous pourrions la calculer.

Soient dans la figure 6 : $\mathfrak{F}$ la f.m.m. établie par les inducteurs aux pièces polaires de la génératrice ; f la f.m.m. due au courant induit et F la f.m.m. effective, résultante, qui produit le flux dans l'induit et dans l'entrefer.

$$F = \Phi_u (r_a + r_e).$$

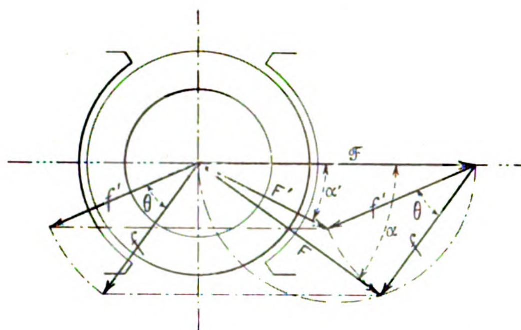


Fig. 6. — Composition des f. m. m. dans l'induit de la génératrice.

Et soit α l'angle de calage lorsque la résistance extérieure n'a pas de self-induction.

Admettons maintenant que l'on place une self-induction dans le circuit extérieur de la dynamo, le moteur électrique diphasé, par exemple, et que l'on fasse varier la résistance jusqu'à débiter le même courant que celui qui donnait le décalage α sans self-induction, le décalage (retard) de ce courant sur la f. é. m. aux bornes étant θ. Il est évident, dans ces conditions que la f. m. m. due au courant d'induit n'a pas changé en valeur absolue et qu'elle est simplement retardée de l'angle θ par rapport à $\mathfrak{F}$ (voir fig. 6). f vient en f' dans le tracé des f. m. m. et la nouvelle résultante, qui produit le flux Φ_u de l'induit, est maintenant F', plus petite que F, mais avancée sur celle-ci de l'angle $\alpha - \alpha'$. L'effet de la self-induction extérieure est d'abaisser le flux, donc la f. é. m. totale produite à la dynamo, pour un même courant débité, et de détordre le flux inducteur.

La figure 7 montre cet effet de la self-induction extérieure sur la caractéristique de la génératrice dont nous nous servirons pour les vérifications expérimentales.

La courbe pleine montre la caractéristique levée lorsque la résistance externe n'est pas inductive, et la courbe en trait mixte indique les chutes de potentiel dues au moteur lorsqu'il est en circuit, relié bornes à bornes avec la génératrice.

Vers les grands débits, qui correspondent à

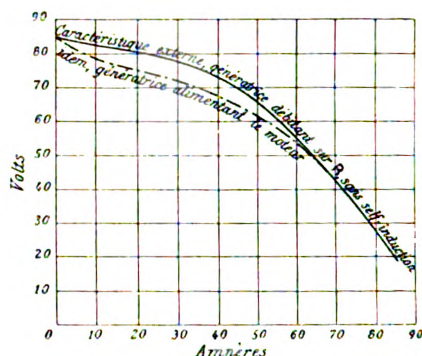


Fig. 7. — Caractéristique de la génératrice d'alimentation.

de grands retards de l'induit du moteur sur le flux tournant, les deux caractéristiques se confondent parce que les retards θ sont nuls ou très faibles.

Cela admis, servons-nous de la caractéristique pointillée, que nous supposerons prédéterminée, pour calculer les conditions de fonctionnement du moteur alimenté sous courant et voltage variables. Les vérifications expérimentales seront ainsi aisées.

Voici la marche suivie pour arriver aux résultats du tableau ci-dessous.

MARCHE DES CALCULS

Nous avons opéré par approximations successives. Pour la première ligne du tableau, nos données étaient :

$$\mathfrak{I} = 2{,}12 \text{ et } \mathcal{E} = 108 \times 10^8.$$

TABLEAU VI. — MOTEURS A COURANTS DIPHASÉS. ALIMENTATION SOUS COURANT ET VOLTAGE VARIABLES

Φ	r	Φr	cos φ	sin φ	φ	ℑ	I	Résistance d'un cadre d'induit ℜ	Ω	Ω − ω	ω	Rendement de l'induit $\frac{\omega}{\Omega}$	Vitesse de l'induit, tours par seconde	Vitesse de l'induit, tours par minute	Couple brut C	6950 Φ	ℜℑ	ℰ	cos θ	θ	90° − φ
$\cos \varphi = \frac{\Phi r}{412,6\ \mathfrak{I}}$						$I = \mathfrak{I} \sin \varphi \times 4,1$		$\Omega - \omega = R \frac{I}{\Phi}$					$n = \frac{\omega}{2\pi}$		$c = 81\ \Phi$	$\mathcal{E} = 6\,950\ \Phi$; $\mathcal{E} = \mathfrak{R}\mathfrak{I} + 6\,950\ \Phi$; $\mathcal{E}^2 = (\mathfrak{R}\mathfrak{I} + 6\,950\ \Phi \sin \varphi)^2 + (6\,950\ \Phi \cos \varphi)^2$			$\cos \theta = \frac{\mathfrak{R}\mathfrak{I} + 6\,950\ \Phi \sin \varphi}{\mathcal{E}}$		
× 10⁴	× 10⁻¹					C.G.S.	C.G.S.	× 10³													
1,552	4,24	659	0,755	0,656	40°58′	2,12	5,68	5,6	209,1	2,05	207,	0,988	33	1 975	7,05 × 10⁷	107,2 × 10⁸	2,8 × 10⁸	108 × 10⁸	0,6825	16°58′	49°2′
1,434	4,13	592	0,407	0,914	66°	3,53	13,25	5,6	—	5,2	203,9	0,973	32,5	1 945	15,16	99,7	4,65	103,8	0,92	23°4′	24°
1,332	4,1	545	0,267	0,964	74°30′	4,95	19,5	5,8	—	8,5	200,6	0,955	31,9	1 910	20,7	92,6	6,53	98,9	0,967	14°45′	15°30′
1,212	4,08	495	0,189	0,982	79°6′	6,35	25,5	6,5	—	13,7	195,4	0,931	31,1	1 865	24,7	84	8,4	92,5	0,9825	10°44′	10°54′
1,045	4,12	430	0,135	0,991	82°15′	7,76	31,5	7	—	21,1	188	0,898	30	1 795	26,25	72,5	10,25	82,7	0,992	7°40′	7°45′
0,822	4,3	353	0,0935	0,996	84°38′	9,18	37,3	7,4	—	33,5	175,6	0,84	28	1 675	24,5	57	12,1	69	0,996	5°20′	5°22′
0,542	4,92	257	0,059	0,998	86°38′	10,6	43,3	7,8	—	65	144,1	0,69	23	1 380	18,04	36,3	14	50,2	0,998	3°22′	3°22′
0,182	6,9	125,4	0,0256	0,9997	88°32′	11,3	46,3	8,2	—	209,1	0	0	0	0	6,75	12,6	14,9	27,5	0,9997	1°28′	1°28′

Puissance totale fournie P_t	Pertes de puissance — Effet Joule — Inducteur	Effet Joule — Induit	Effet d'hystérésis — 𝔅	Effet d'hystérésis — B	Effet d'hystérésis — p_3	Courants de Foucault	Frottements mécaniques	Totales	Sur l'arbre de l'induit — puissance utile P_u (watts)	puissance utile P_u (chx)	Rendement total	Couple effectif	Puissance électrique effective fournie à la machine	Rendement électrique	Observations
$P_t = \mathcal{E}\mathfrak{I} \cos \theta$	$p_1 = 1,32 \times 10^8\ \mathfrak{I}^2$	$p_2 = 8RI^2$	$p_3 = 1\,112\ \mathfrak{B}^{1,6} \times 1,89\ (\Omega - \omega)\ B^{1,6}$			$p_4 = 3,63 \times 10^{-7}\ B^2$	$p_5 = 2,32 \times 10^7\ n$				$\frac{P_u}{P_t}$	$\frac{P_u}{\omega}$	$P_e = \mathcal{E}\mathfrak{I} \cos \theta - \mathfrak{R}\mathfrak{I}^2 - \frac{m}{2} RI^2$	$\frac{P_e}{P_t}$	
								× 10⁷	× 10⁷			× 10⁷			
1 560 × 10⁷	59,3 × 10⁷	14,6 × 10⁷	8 760	7 750	224 × 10⁷	22,2 × 10⁷	76,5 × 10⁷	396,6	1 163,4	1,58	0,745	5,65	»	»	Les calculs sont exécutés à la règle.
3 360	164,5	79	8 100	7 180	201	18,8	75,5	538,8	2 821,2	3,83	0,841	13,8	»	»	
4 715	323	174	7 520	6 670	180	16	73,8	766,8	3 918,2	5,35	0,84	19,7	»	»	
5 750	532	337	6 850	6 050	151	12,6	72	1 104,6	4 645,4	6,3	0,811	23,3	»	»	
6 330	792	555	5 900	5 250	120	8,7	69,5	1 545,2	4 784,8	6,5	0,756	25,4	»	»	
6 290	1 115	820	4 650	4 100	77	5,8	65	2 082,8	4 207,2	5,71	0,67	23,9	»	»	
5 300	1 485	1 179	2 950	2 600	40	2	53,2	2 750,2	2 549,8	3,46	0,48	17,7	»	»	
2 990	1 690	1 410	1 030	910	9	0,4	0	3 109,4	0	0	0	0	»	»	Démarrage.

Nous avons approximativement, parce que $\mathfrak{J}$ est petit :

$$\Phi = \frac{\mathfrak{E}}{6950} = 1\,554\,000\,;$$

$$\cos\varphi = \frac{1{,}554 \times 10^6 \times 4{,}24 \times 10^{-4}}{412{,}6 \times 2{,}12} = 0{,}754\,;$$

$$\varphi = 41^\circ 4'\,;\ \sin.\ \varphi = 0{,}657.$$

On voit que ce sont là approximativement les chiffres exacts du tableau. Pour vérification :

$$\mathfrak{E}^2 = (32 \times 10^8 \times 2{,}12 + 6950 \times 1{,}554 \times 10^6 \times 0{,}657)^2 + (6950 \times 1{,}554 \times 10^6 \times 0{,}754)^2,$$

d'où :

$$\mathfrak{E} = 109{,}4 \times 10^8.$$

109,4 est trop fort de 109,4 — 108 = 1,4 : c'est peu de chose.

Fig. 8.

Si nous voulons plus d'exactitude, nous pouvons, connaissant $\varphi = 41^\circ 4'$ environ, appliquer la formule

$$\mathfrak{E}^2 = (\mathfrak{R}\mathfrak{J} + 6950\,\Phi \sin\varphi)^2 + (6950\,\Phi\cos\varphi)^2. \quad (11)$$

et déterminer une valeur de Φ très approximative.

D'une autre façon, d'après la figure 8 et pour éviter la formule (11) qui est difficile à résoudre, nous pouvons écrire assez exactement :

$$OE = AE = EF + FA\,;$$
$$\mathfrak{E} = 6950\Phi + \mathfrak{R}\mathfrak{J}\sin\varphi\,;\ 6950\Phi = \mathfrak{E} - \mathfrak{R}\mathfrak{J}\sin\varphi\,;$$
$$6950\Phi = (108 - 2{,}12 \times 0{,}657)\,10^8.$$
$$\Phi = \frac{106{,}2 \times 10^8}{6950} = 1{,}537 \times 10^6.$$

Tous ces résultats de première approximation sont suffisamment exacts pour la pratique. Aussi pour ne pas paraître fastidieux, nous n'indiquerons pas complètement les tâtonnements nécessaires pour arriver à une précision plus grande.

Le calcul des points suivants des courbes est plus facile en ce sens que l'on peut tracer ces dernières au fur et à mesure de la détermination des résultats et les continuer au juger pour prédéterminer les valeurs suivantes qu'il suffit alors de vérifier.

Pour les derniers points, la formule

$$\mathfrak{E} = \mathfrak{R}\mathfrak{J} + 6950\Phi.$$

est applicable.

Démarrage. — La dernière ligne du tableau VI correspond au régime :

$$\mathfrak{J} = 11{,}3 \text{ et } \mathfrak{E} = 27{,}5 \times 10^8.$$

Nous pouvons écrire :

$$I = \mathfrak{J} \times 4{,}1 \sin 90^\circ = 46{,}3\,;$$
$$\mathfrak{E} = \mathfrak{R}\mathfrak{J} + 6950\Phi\,;$$
$$\Phi = \frac{\mathfrak{E} - \mathfrak{R}\mathfrak{J}}{6950} = \frac{27{,}5 - 14{,}9}{6950} = 182\,000\,;$$
$$\mathfrak{C} = 81\Phi = 6{,}75 \times 10^7.$$
$$\Omega - \omega = R\,\frac{I}{\Phi} = 209{,}1\,;\ \text{etc.}$$

Résistance R *d'un cadre d'induit.* — Cette résistance, comme nous le savons, est de $5{,}6 \times 10^5$ à froid.

On peut voir, par les nombres du tableau, que les courants induits I croissent très vite, deviennent rapidement considérables, et doivent faire chauffer l'induit. Admettons que vers le démarrage (vers 460 ampères) la température est de 100° ou même davantage. La résistance R devient à peu près, à 100°.

$$5{,}6 \times 10^5 \times 1{,}38 = 7{,}75 \times 10^5.$$

Nous pourrions adopter 8×10^5.

Si nous avons choisi $8{,}2 \times 10^5$ c'est que nous avons pu calculer R à la suite d'une expérience. Au démarrage, nous avons relevé

$$\mathfrak{J} = 11{,}3 \text{ et } \mathfrak{E} = 27{,}5 \times 10^8.$$

dans ces conditions, $\Omega - \omega$ étant connu (c'est, au démarrage, 209,1) R se déduit de la formule :

$$\Phi(\Omega - \omega) = RI,$$

de laquelle on tire

$$R = \frac{182000 \times 200,1'}{46,3} = 8,2 \times 10^5.$$

C'est au juger que nous avons fait varier la résistance R, indiquée au tableau, entre ses valeurs extrêmes $5,6 \times 10^5$ et $8,2 \times 10^5$.

RÉSULTATS

Les résultats de l'examen du fonctionnement du moteur sous courant et voltage variables sont traduits graphiquement à la figure 9.

Les courbes obtenues tiennent de celles des figures 3 et 5 provenant des régimes à courant et à potentiel constants.

Les *courants* vont croissant jusqu'au démarrage. Pour 5 chevaux, puissance normale du moteur, ils sont de 44,5 et 176 ampères maximum, 31,5 et 124,5 ampères efficaces.

Les *f. é. m. et les flux* décroissent régulièrement. Pour 5 chevaux,

$$\mathcal{E}_{max.} = 100, \quad \mathcal{E}_{eff.} = 70,7 \text{ volts}, \quad \Phi = 1\,350\,000.$$

Les *puissances et les couples* ont un maximum, vers 1 800 tours à l'induit et le point

Fig. 9. — Alimentation sous courant et voltage variables.

correspondant à 5 chevaux est en avant de ce maximum. Le couple, à 5 chevaux, est de

$$18,25 \times 10^7 \text{ C. G. S. ou } \frac{18,25}{9,81} = 1,865 \text{ m.kgr.}$$

Les *rendements* passent aussi par une valeur maxima qui se produit vers la puissance normale.

Pour cette dernière, le rendement est voisin de 84 p. 100.

Les *pertes de puissance* par effet Joule sont remarquables. Elles croissent très vite avec le retard de l'induit.

VÉRIFICATIONS EXPÉRIMENTALES

ALIMENTATION SANS COURANT CONSTANT DE 66,3 AMPÈRES MAXIMUM, 44 AMPÈRES EFFICACES

Pour faire cette première vérification, nous avons excité la génératrice avec des courants variés pour arriver à marcher à courant constant. Le moteur était chargé au moyen d'un frein de Prony.

Le grand nombre de mesures à exécuter à un moment donné, la difficulté de maintenir la vitesse de la génératrice et de régler le frein en même temps et le manque d'opérateurs (nous étions trois) ne nous permettent pas de garantir tous nos chiffres comme très exacts.

Les résultats du levé sont consignés dans le tableau VII ci-dessous et traduits par la figure 10.

La comparaison des figures 10 et 4 montre bien que les valeurs levées et calculées varient dans le même rapport : les courbes sont absolument semblables dans les deux diagrammes.

Les couples relevés expérimentalement sont de 9,5 à 11 p. 100 plus faibles que les couples calculés pour des régimes de courant et voltage semblables, mais non de même puissance. Cette différence s'explique par le décalage apparent θ des courants inducteurs qui est plus fort que ce que les calculs indiquent. Aussi les

TABLEAU VII.

COURANTS inducteurs		VOLTAGE appliqué aux bornes		PUISSANCE totale fournie en watts — Indiquée par 2 wattmètres	DÉCALAGE des courants inducteurs		CHARGE du frein	VITESSES				PUISSANCE utile		RENDEMENT total	COUPLE effectif	COUPLE effectif pour $\mathfrak{I}_{eff}=44$	COUPLE calculé (voir fig. 4)	DIFFÉRENCE entre couples calculé et levé
								tours par minute		au moteur pour 2000 t. à la génératrice	$\Omega - \omega$							
$\mathfrak{I}_{eff}$	$\mathfrak{I}_{max}$	$\mathcal{E}_{eff}$	$\mathcal{E}_{max}$		cos θ apparent	θ apparent		génératrice	moteur			ch.	watts					
ampères		volts													$\times 10^7$	$\times 10^7$	$\times 10^7$	
44	62,3	58,5	82,7	4 600	0,898	26°	1 k. 870 à 1 m.	1 990	1 870	1 880	12,75	4,91	3 610	0,79	18,4	18,4	20,6	9,8 0/0
45	»	63,5	90	5 020	0,884	27°52'	2 k. 12	1 980	—	1 890	11,64	5,55	4 070	0,81	20,85	20,35	22,5	9,55
44	62,3	68	96	5 150	0,866	30°	2 k. 22	1 965	—	1 906	10	5,82	4 230	0,83	21,8	21,8	24	10,7

puissances dépensées sont-elles également de 10 à 11 p. 100 plus faibles à l'expérience.

Bref, à égalité de puissances dépensées, on obtient des puissances et des couples utiles parfaitement concordants avec les nombres du tableau calculé.

Les rendements sont d'ailleurs absolument semblables.

Les vitesses concordent bien.

Les différences qui existent entre les décalages calculés et levés s'expliquent par ce fait que les f. é. m. et les courants d'alimentation sont loin d'être sinusoïdaux, surtout pour les grands débits, et que la loi des cosinus pour la détermination de la puissance n'est pas applicable dans ce cas.

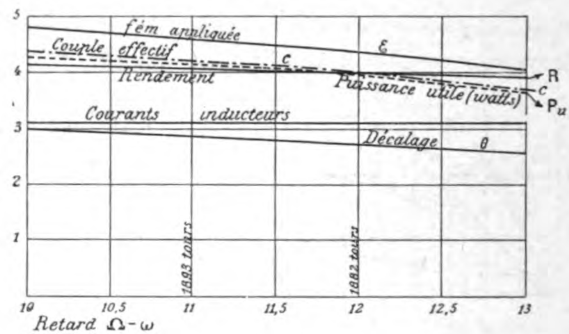


Fig. 10. — Alimentation sous courant de 62,2 ampères.

La déformation de la sinusoïde théorique est due ici à la forme de l'entrefer de la génératrice et à la réaction d'induit.

Le second point (seconde ligne) du tableau étant levé à 45 ampères au lieu de 44, nous avons fait la correction du couple et nous l'avons indiquée dans une colonne spéciale (couple pour $\mathfrak{I}_{eff} = 44$ A).

Démarrage. — Le tableau IV (alimentation sous courant constant) et les calculs qui suivent donnent le couple au démarrage pour 69,2 ampères maximum, 49 ampères efficaces. Nous y avons trouvé pour couple

$$\mathcal{C} = 1{,}72 \text{ à } 2{,}38 \times 10^7,$$

et pour effort tangentiel à la poulie

$$P = 2{,}2 \text{ à } 3{,}04 \text{ kgr.}$$

selon l'échauffement de l'induit.

Dans l'expérience de vérification, nous avons calé l'induit et réglé l'excitation de la génératrice pour obtenir 69,2 A. au démarrage, et, au moyen d'un peson à ressort attelé à une courroie, nous avons déterminé l'ef-

fort tangentiel à la poulie. Au départ, le peson a d'abord marqué 4 kgr. (effet d'inertie) puis il revenu à 2,8 kgr.

Si nous remarquons que la résistance à chaud des cadres d'induit est toujours indéterminée, nous devons constater que l'expérience confirme entièrement le calcul.

ALIMENTATION SOUS COURANT ET VOLTAGE VARIABLES

La vérification expérimentale a été opérée en reliant simplement la génératrice et le moteur bornes à bornes. Le moteur était chargé au frein de Prony. Il y avait un ampèremètre, un voltmètre et un wattmètre à très faible self-induction dans chaque circuit d'alimentation. Un tachymètre taré se trouvait à chacune des machines.

Les lectures étaient assez difficiles parce que la force motrice dont nous nous servions se prêtait assez mal aux expériences. Malgré cet inconvénient, comme on le verra plus loin, les courbes obtenues sont suffisamment régulières.

Tableau VIII

COURANTS inducteurs.		VOLTAGE aux bornes.		PUISSANCE totale fournie en watts.	DÉCALAGE des courants inducteurs		VITESSES				CHARGE du frein — à 1 mètre.	PUISSANCE utile		RENDEMENT total.	COUPLE effectif.	OBSERVATIONS
							Tours p. min.									
$\mathcal{J}_{eff}$	$\mathcal{J}_{max}$	$\mathcal{E}_{eff}$	$\mathcal{E}_{max}$		cos θ apparent.	θ apparent.	génératrice.	moteur.	Ω — ω	ω		watts	chevaux.		$\times 10^7$	
24,4	34,5 A.	74 V.	104,5	2 750	0,76	40°32′	2 000	1 960	4	205,1	1,115 kg.	2 250	3,06	0,818	10,96	Les calculs sont exécutés à la règle.
26,2	37	73,6	103,8	3 030	0,79	37°48′	—	1 950	5	204,1	1,320	2 575	3,6	0,85	12,6	
30,5	43,2	72	101,6	3 650	0,832	33°42′	—	1 940	6	203,1	1,520	3 030	4,12	0,832	14,92	
34,2	48,3	71,4	99,5	4 070	0,85	31°47′	—	1 932	6,7	202,4	1,720	3 410	4,62	0,835	16,86	
39,2	55,6	68,5	96,7	4 620	0,86	30°41′	—	1 920	8	201,1	1,920	3 800	5,17	0,825	18,9	
44,3	62,6	65,5	92,5	5 100	0,885	27°45′	—	1 900	10,1	199	2,120	4 100	5,57	0,806	20,75	
47	66,4	64	90,5	5 350	0,89	27°7′	—	1 880	12	197,1	2,220	4 280	5,81	0,802	21,8	

Malheureusement, nous n'avons pu dépasser 5,8 chevaux utiles dans les conditions de notre montage.

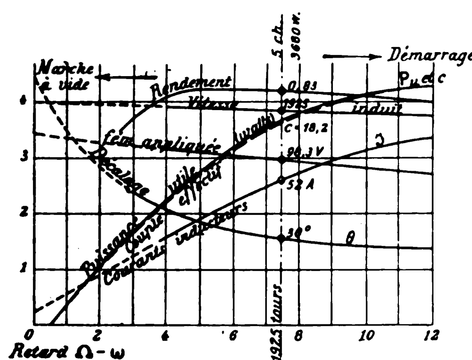


Fig. 11.

Nous indiquons ci-dessus dans le tableau VIII et la figure 11 les résultats de notre lever.

La comparaison des figures 8 et 11 conduit à constater que les résultats des expériences sont en général conformes à ceux du calcul. Les courbes traduisant les variations de valeur des différents éléments d'appréciation du fonctionnement du moteur sont absolument semblables dans les deux figures. Une différence essentielle, comme valeur absolue, subsiste toujours à propos du décalage des courants inducteurs.

Cette différence, comme nous l'avons déjà dit, est due à la forme des f. é m. et des courants qui ne sont nullement sinusoïdaux et pour lesquels la loi du cosinus n'est pas applicable.

Le moteur ayant été étudié pour une puissance normale de 5 chevaux, indiquons en regard, pour ce chiffre, les résultats du calcul et ceux de l'expérience.

Résultats	$\mathcal{J}_{max.}$	$\mathcal{E}_{max.}$	P_t	Cos θ	θ	vitesse	P_u	Rendement	Couple
du calcul :	44,5 A.	100 V.	4360 w.	0,96	16°50′	1930 t.	3680 w.	0,84	18,25 × 10⁷
des expériences :	52	98,3	4430	0,86	31°	1925	3680	0,83	18,2

On voit que la seule différence importante entre les deux séries de valeurs est celle du facteur de puissance cos θ que la forme des f. é. m. et des courants fait baisser de 0,96 à 0,86, soit de 10,4 p. 100.

Quant aux nombres de tours, une erreur de lecture ou de calcul en expliquerait facilement la différence.

Démarrage. — La dernière ligne du tableau résumant les conditions d'alimentation sous courant et voltage variables donne ce qui concerne le démarrage. On y voit que le couple est de $6{,}65 \times 10^7$. Ce nombre correspond à un effort tangentiel que nous pouvons calculer et qui est :

$$P = \frac{6{,}75 \times 10^7}{9{,}81 \times 10^7 \times 0{,}08} = 8{,}62 \text{ kgr.}$$

A l'expérience, avec un peson à ressort attaché à une courroie, l'effort P, d'abord égal à 12 kgr. à la fermeture des circuits, est tombé à 9,7 kgr. C'est un excès de 11 p. 100 sur l'effort calculé.

Cet excès ne peut provenir qu'en faible partie d'une erreur de lecture. Il faut admettre, pour l'expliquer, que la forme des courants tout en donnant un flux tournant *variable*, renforce la valeur moyenne de ce flux, relativement à sa valeur constante qui serait due à un courant sinusoïdal de même amplitude.

Remarquons en passant la quasi-égalité de l'erreur par défaut, de 10,4 p. 100, sur le coefficient de puissance cos θ, et de l'erreur par excès, de 11 p. 100, sur le flux tournant de démarrage.

Dans cette étude que nous venons de terminer sur un moteur à courants diphasés, comme dans les études précédentes sur des dynamos, nous avons eu pour but de jeter un peu plus de jour sur la question du calcul de ces machines, question qui arrête si souvent les jeunes praticiens. Nous avons fait suivre chaque fois nos applications de vérifications expérimentales, qui nous ont permis de constater l'approximation à laquelle on peut arriver par l'emploi rationnel des théories connues.

Nous serons heureux si nous avons ainsi rendu quelques services aux ingénieurs.

On trouvera peut-être que nous avons trop détaillé nos calculs. A cette observation nous répondrons que l'on ne saurait trop les détailler si l'on veut permettre aux commençants de vérifier le travail, de le refaire, de le revivre complètement, seule manière de se fortifier sérieusement dans les sciences appliquées.

Nous ferons remarquer en terminant que de petites erreurs peuvent se rencontrer dans les tableaux, par suite de ce fait que nous nous sommes toujours servi de la règle à calcul. On nous pardonnera, nous l'espérons, cette simplification de notre travail, par la raison que le nombre des opérations exécutées est considérable et que cette façon de faire est couramment employée en pratique.

S. HANAPPE.

LES

MONTAGES ÉLECTROTHERMIQUES

OU ÉLECTRAMAGNÉTIQUES

Nous n'avons admis qu'avec une incrédulité mal dissimulée l'aphorisme de M. Irish annonçant dans l'avenir la substitution de ses montages électrothermiques aux montages électromagnétiques et la prochaine relégation de l'électro-aimant dans les cabinets d'antiquités. Nous l'avons enregistré plutôt comme une curiosité dont le plus grand défaut était la généralisation mais qui offrait un élément d'intéressante comparaison entre divers moyens d'arriver à des résultats analogues [1].

Nos réticences de convenance en fin d'article avaient pour objet de laisser la question ouverte et de la reprendre un peu plus en détail. Cette tâche nous est aujourd'hui facilitée par les appréciations des propres compatriotes de l'auteur, MM. Sheldon et Stine, qui,

[1] Voir l'*Eclairage Electrique* du 6 juillet, t. IV, p. 27.

chacun individuellement, reviennent dans l'*Electrical Engineer* sur cette singulière élucubration.

Au point de vue rétrospectif, il est d'abord hors de doute que l'action thermique des courants a de beaucoup précédé comme étude et comme applications celle de l'électro-aimant encore inconnu, et, bien que récemment on y soit revenu dans quelques cas particuliers, il est certain que, dans tous les appareils où l'on a eu le choix entre les deux intermédiaires, on a toujours donné la préférence à l'électro-aimant, ce qui est déjà une forte présomption en sa faveur.

Pour que l'un des deux procédés puisse supplanter l'autre il faut au moins qu'il y ait parité dans leur sécurité de fonctionnement; le prix de revient et la simplicité établiront ensuite la concurrence entre eux. Or, si dans certains cas l'électro-aimant est un raffinement en ce qui concerne le rôle qui lui incombe, dans un bien plus grand nombre d'autres il n'est pas encore assez délicat ou sensible, et ce n'est pas l'action électrothermique qui pourrait à cet égard lui être avantageusement substituée.

Un fil échauffé agit à un certain point de vue comme un ressort susceptible d'être bandé et de se détendre sous l'influence thermique d'un courant électrique. D'autre part un électro-aimant se comporte dans bien des cas comme un ressort éthéré, et, étant donné que pratiquement il est dépourvu de masse, il doit toujours être de beaucoup supérieur à un ressort matériel. Les défauts de l'électro-aimant sont l'hystérésis, le magnétisme rémanent, etc.; ceux du fil échauffé, la lenteur d'action, l'emmagasinement de la chaleur, les variations de ses constantes, etc. Les propriétés du premier sont bien connus; celles du second demandent à être résumées dans un ensemble qui mette en relief ses conditions de fonctionnement dans le cas actuel.

Presque toutes les dispositions de M. Irish reposent comme fonctionnement sur l'hypothèse d'une longueur déterminée de conducteur pour le passage d'un courant également fixé. Cette longueur est elle-même fonction de la température du fil. Or la température d'un corps s'établit en raison de ce que son échauffement est équilibré par la dissipation de la chaleur qu'il reçoit, dissipation qui s'effectue par rayonnement, par convection et par conduction. L'échauffement ne dépend, en dehors du courant, que d'une seule constante, la résistance du fil. La dissipation de la chaleur est fonction du pouvoir émissif du conducteur, de ses dimensions, de sa forme, de sa position, de sa conductibilité pour la chaleur, ainsi que du pouvoir émissif de ses bornes, de la boîte dans laquelle il est renfermé et des corps voisins. Elle dépend également des coups de vent et des courants d'air dont la température peut être variable. Le pouvoir émissif d'un corps est une quantité essentiellement indéterminée qui varie beaucoup avec l'état de poli ou mat de sa surface et avec la différence de température entre les récipients des radiations mutuelles. Etant donnés ce fait et l'incertitude des autres conditions, il est impossible de se fier, à 5 p. 100 près, à l'exactitude du rapport entre la longueur du fil et l'intensité du courant dont il est le siège. Tous ceux qui ont essayé de se livrer à des recherches de précision avec le voltmètre Cardew savent à quoi s'en tenir à cet égard. La façon dont varie le pouvoir émissif jointe au fait que l'échauffement est proportionnel au carré de l'intensité (tandis que l'électro-aimant agit proportionnellement à ses ampères-tours) écarte d'avance la possibilité de combiner une grande étendue d'action avec une proportionnalité, même passable, sur toute cette plage.

Un montage électrothermique ne saurait d'ailleurs remplacer un montage électromagnétique là où il est destiné à protéger des appareils. On en a la preuve dans le cas des fusibles qui, pour sauter, exigent un certain temps appréciable en secondes, alors que le délai d'action d'un interrupteur électromagnétique par self-induction ne se compte que par centièmes ou millièmes de secondes.

Mais, si, d'une manière générale et à l'in-

verse de l'opinion émise par M. Irish, l'échauffement d'un fil est inférieur, comme procédé, à l'action électromagnétique, il existe néanmoins des cas où on peut l'employer avec avantage; et, comme cette question peut passionner les chercheurs et inventeurs, il n'est pas inutile d'étudier plus à fond quelques-unes de ses applications.

Galvanomètres. — Pour ces instruments le principe de l'échauffement d'un fil peut être avantageux dans certains cas. En maintes circonstances, en effet, les galvanomètres magnétiques ordinaires ne peuvent être employés, comme par exemple, quand ils sont exposés à de fortes trépidations ou à des influences magnétiques. En outre ces derniers appareils ne sont pas transportables. Le galvanomètre d'Arsonval, entre autres, s'il est à l'abri des actions magnétiques extérieures, se dérange par les trépidations. Les instruments de ce type montés sur pivots sont bien portatifs et peuvent être ainsi presque universellement employés; mais ils ont l'inconvénients d'être peu sensibles. A en juger d'après certains instruments à échauffement de fil étudiés par le professeur Ayrton et M. Willyoung, on est fondé à conclure que ce genre d'appareils est susceptible de prendre une forme degalvanomètre portatif de sensibilité suffisante pour la mesure des résistances et autres quantités et de rendre les mêmes services que le type d'Arsonval. Ces mêmes galvanomètres montés à miroir, pour être utilisés avec une lunette ou une échelle transparente avec lampe, seraient précieux dans bien des laboratoires. On aura cependant toujours à leur reprocher, malgré leur apériodicité ,une certaine lenteur et une faible sensibilité comparativement aux meilleurs types de galvanomètres. Arrivât-on même à leur donner une sensibilité correspondant à une figure de mérite égale à 10^{-7}, qu'il ne paraît pas impossible d'obtenir, ils auraient toujours contre eux les perturbations dues à la température auxquelles ils sont sujets et leur difficulté de maniement par des mains peu exercées.

Ampèremètres, Voltmètres et Indicateurs. — Le principe en question a été appliqué sur une large échelle pour cette classe d'instruments. Ils offrent en effet ici de nombreux avantages: les appareils ainsi établis sont très apériodiques, indemnes des perturbations magnétiques, peuvent être employés sur des courants quelconques et le mécanisme en est très simple. Quand les appareils du type Cardew sont arrivés sur le marché les inventeurs se sont jetés avec empressement sur le parti qu'on pouvait tirer de cette nouvelle application. Aujourd'hui elle est à peu près laissée de côté. Cet abandon est un enseignement : il indique que la dilatation d'un fil sous le passage du courant présente de trop graves inconvénients comme élément essentiel d'instruments de précision. Ces inconvénients sont en effet multiples et n'ont été encore qu'imparfaitement surmontés. Ces défauts ne sont cependant pas incorrigibles et l'on pourra alors construire des instruments électrothermiques exacts et durables; néanmoins leur complication et leur prix de revient les maintiendront dans une condition d'infériorité comparativement aux appareils similaires et parfaitement satisfaisants du type magnétique.

La variation du zéro dans ces appareils électrothermiques est un défaut radical, bien qu'on puisse y remédier par une compensation convenable. Ils en ont un autre qui ne se manifeste qu'à l'usage : ils sont nécessairement formés de fils très fins, de 0,075 à 0,2 mm, et, comme ils doivent être soumis à une tension mécanique relativement élevée, ils en subissent les conséquences comme extension et comme fatigue après de nombreux échauffements et refroidissements successifs. Cet inconvénient en rend le réglage difficile et nécessite de fréquents étalonnages de l'échelle. La finesse du fil ne leur permet pas de résister à un emploi même modéré sans rupture ou accidents par trépidations, qui entraînent des réparations trop souvent répétées. Ils sont en outre plus exposés à se brûler qu'un grand nombre d'autres types et consomment dix fois au moins

autant de puissance que la première classe d'appareils, ce qui, du reste, il faut le reconnaître, ne serait pas, dans la majorité des cas, une grave objection.

En résumé, la mise en balance de leurs mérites et de leurs défauts indique une grande prépondérance de ces derniers et justifie leur emploi limité. Ils ont été l'objet d'investigations si approfondies qu'ils n'offrent plus guère de champ rémunérateur à l'activité intellectuelle des inventeurs. L'expérience a prononcé sur eux un verdict bien fondé et ils ne paraissent pas appelés à devenir jamais d'une application générale. Ils doivent à la pénurie d'instruments appropriés à la mesure des courants alternatifs la faveur dont ils ont joui dans ces derniers temps. Depuis quelques années on a en effet appliqué en grand les indicateurs de tension électrothermiques ; mais ils ont été promptement délaissés en même temps que toute cette classe d'instruments dits indicateurs. Les électriciens ont fini par sentir la nécessité de *mesurer* exactement la tension et de ne plus se contenter de simples *indications*.

Lampes à arc. — Le principe électrothermique offre incontestablement de nombreux avantages au point de vue de la construction de ces lampes. L'emploi des électro-aimants dans ce cas a ordinairement pour objet de déterminer le démarrage ou l'arrêt des charbons qui avancent ensuite sous l'action de la pesanteur ou d'un ressort. Il en résulte que ces lampes fonctionnent toujours d'une façon plus ou moins intermittente. Dans quelques cas, on a essayé de faire avancer les charbons électromagnétiquement ; mais les résultats n'ont pas, à beaucoup près, donné satisfaction. L'application de la dilatation d'un fil leur assure au contraire un avancement progressif uniforme. La courbe de fonctionnement de lampes ainsi établies est très voisine d'une ligne droite et bien supérieure à celle fournie par les lampes à marche électromagnétique. Dans ces conditions, il semblerait que ce mode de réglage dût être d'un emploi exclusif. Il n'en est rien cependant, ce qui est encore ici l'indice d'un défaut radical. Les lampes à arc ainsi réglées fonctionnent en effet ordinairement d'une manière parfaitement satisfaisante au laboratoire pendant un certain temps ; mais en exploitation industrielle elles ne résistent pas. Il faut en chercher la cause dans leur délicatesse et dans l'action des variations très étendues de température. A une température sensiblement uniforme, ces lampes se comportent assez bien ; mais les températures extrêmes de chaud ou de froid influent très notablement sur leur fonctionnement. On a bien essayé de remédier à ce défaut par des systèmes de compensation ; mais le succès n'a pas jusqu'ici couronné ces efforts. Une lampe à réglage électrothermique paraît néanmoins en somme une possibilité, et l'on peut espérer que l'ingéniosité des inventeurs parviendra à la réaliser dans l'avenir.

Quoi qu'il en soit, il reste, comme on le voit, fort peu de chose des rêves envahissants de M. Irish et, malgré qu'il en ait, de nombreux et heureux jours sont encore réservés à l'électro-aimant.

E. Boistel.

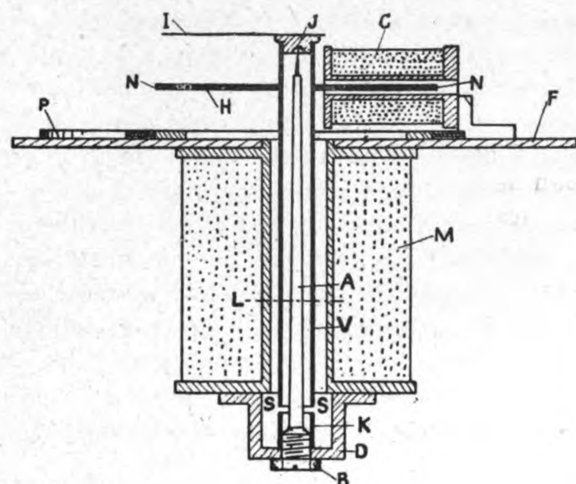
REVUE DE LA PRESSE INDUSTRIELLE ET DES INVENTIONS

Ohmmètre Goolden et Evershed (1894).

Les principales difficultés que présente, en général, la construction de ces appareils sont : l'équilibre mécanique exact des aiguilles, la tendance des systèmes astatiques à se déséquilibrer par l'inégale démagnétisation des aiguilles, et enfin la démagnétisation complète de ces aiguilles quand un courant très intense traverse accidentellement les bobines d'un ohmmètre dans une fausse direction.

Dans l'appareil de MM. Goolden et Evershed tout le système repose librement en j sur une pointe A, ce qui pare à la première difficulté, et la seconde et la troisième difficulté sont évitées

en donnant (fig. 1 et 2) au système la forme d'un T constitué par le tube en fer doux V et le barreau H. Quand un courant traverse la bobine M, ce système se magnétise, avec le pôle sud au bas du tube V et le pôle nord aux extrémités



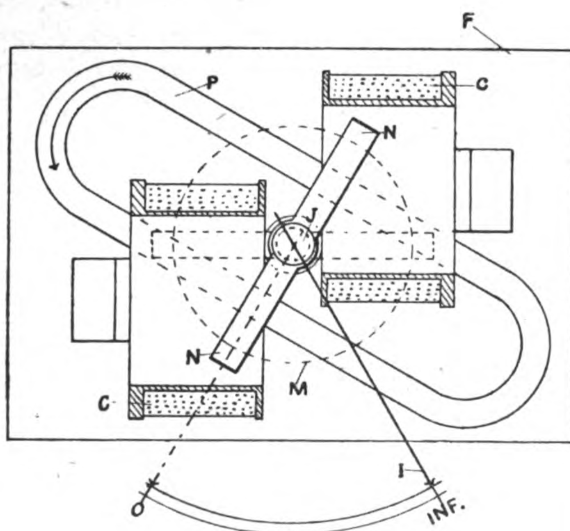


Fig. 1 et 2. — Ohmmètre Goolden et Evershed. Coupe verticale et plan.

de H, de manière qu'ils constituent un système astatique, qui, placé dans un champ uniforme, ne tend pas à tourner sur A. L'équilibre vertical du tube V est maintenu par le magnétisme de la douille K, que l'on ajuste sur B jusqu'à ce que cet équilibre soit réalisé par l'attraction de K sur S : sans cela, en effet, le moindre balourd de l'attraction de M sur N ferait incliner V, et l'amènerait buter sur A.

Les bobines déviatrices CC sont disposées de manière que le barreau NN soit bien à l'intérieur et parallèle à l'axe de ces bobines pour une résistance pratiquement infinie ; quant à la bobine rhéostatique P, formée d'environ 200 tours de fils très fin, elle a son axe perpendiculaire à la position de l'aiguille correspondant à cette résistance infinie, c'est-à-dire quand il ne passe pas de courant en CC, et NN tend à se placer dans l'axe de P vers sa position pointillée à mesure que, la résistance de circuit s'abaissant, l'intensité du courant augmente en CC.

G. R.

Microphone Carbonelle (1894).

Dans ce microphone, le courant suit le trajet $eRDD_1N_1Of_1P_1MP_2f_2N_2E_1EFda$, de la borne *b* à la borne *a*, au travers de la poussière de coke M, prise entre deux plaquettes de carbone P_1P_2,

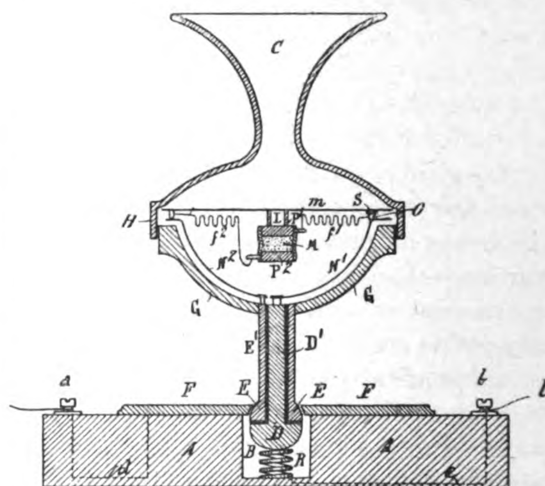


Fig. 1. — Microphone Carbonnelle (1894).

dans un petit tube suspendu à la membrane *m* par un caoutchouc L.

L'extrémité sphérique du support en deux parties DD'EE' permet de faire pivoter le microphone sans rompre les connexions.

Ce microphone très sensible permettrait de communiquer à de grandes distances sans

l'emploi d'une bobine d'induction, et avec un courant très faible — un élément suffit — sa résistance au repos est de 1 000 ohms, et les vibrations de la membrane la fait varier de 5 000 à 6 000 ohms.

G. R.

Ampèremètre Nadler (1894).

La construction de cet ampèremètre, étudié en vue des hautes tensions, se distingue par quelques détails pratiques :

La boîte en fonte est en deux parties *a* et *b*,

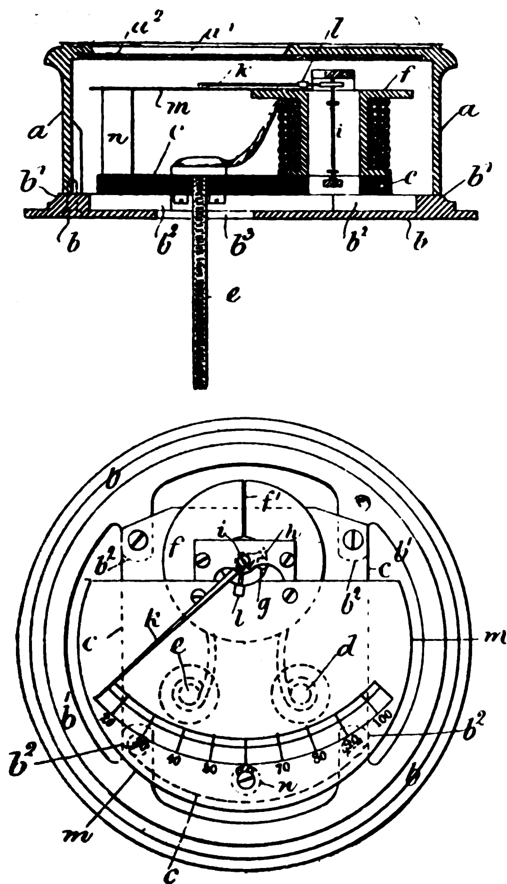


Fig. 1 et 2. — Ampèremètre Nadler (1894).

avec regard a_1 et verre a_2, qui s'étend sur tout le fond supérieur et l'isole. L'intérieur de la boîte est entièrement émaillé, ce qui en abrite le mécanisme des décharges électriques. Ce mécanisme est fixé sur une plaque d'ébonite *c*, qui reçoit les fils *d* et *e* et la bobine en bronze *f*, à enroulement soudé à *d* et *e*, et fendue en f_1. A l'intérieur de cette bobine, se trouvent le petit barreau fixe *g* et le barreau mobile *h*, à pivot *i* et aiguille *k*, avec contrepoids de réglage *l*.

G. R.

Télégraphe sous-marin Muirhead et Fraser (1894).

Cet appareil est du genre de ceux où un ruban de papier perforé suivant le code Morse est entraîné par une roue dentée B, mue par un mécanisme d'horlogerie sous un galet A. Le perfectionnement consiste à faire actionner par un axe Q, faisant un tour par dent de B, deux cames R et S, dont l'une, S, permet aux

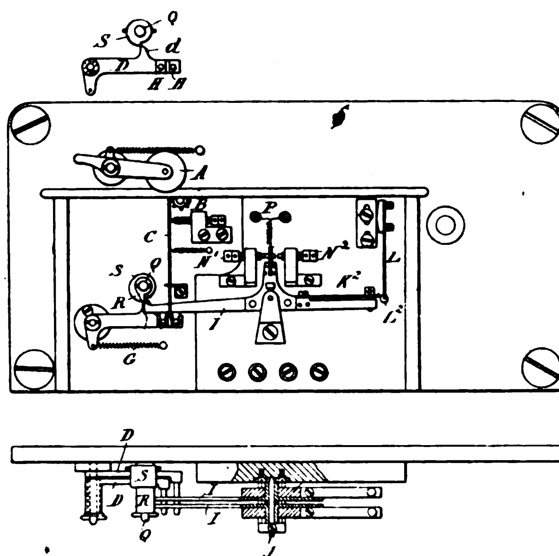


Fig. 1. — Télégraphe sous-marin Muirhead et Fraser (1894).

leviers D, de soulever alors, par leurs tiges C, la bande de papier, de manière que, si ce papier présente alors une perforation au droit de l'une de ces tiges, le balancier correspondant I oscille assez pour amener son bras M sur la butée N_1, où il reste appuyé par le ressort L jusqu'à ce que, à la fin du tour suivant de Q, la seconde came R ramène I dans sa position primitive, sur la seconde butée N.

Les bras M des leviers I sont isolés et reliés

aux bornes de l'appareil par les fils RP, tandis que les contacts N_1N_2 sont reliés aux piles. Des ressorts K_1, à galet de butées élastiques L_2L, maintiennent M sur N_1 ou sur N_2 pendant toute la durée des intervalles qui séparent le passage des perforations et des cames D_1.

On assure ainsi une transmission du courant de durée presque rigoureusement proportionnelle à la longueur des perforations, avec une interruption et un rétablissement rapides et certains. G. R.

Indicateur pour courants alternatifs Mordey (1894)

Cet appareil a pour objet d'indiquer, dans un groupement d'alternateurs en parallèle,

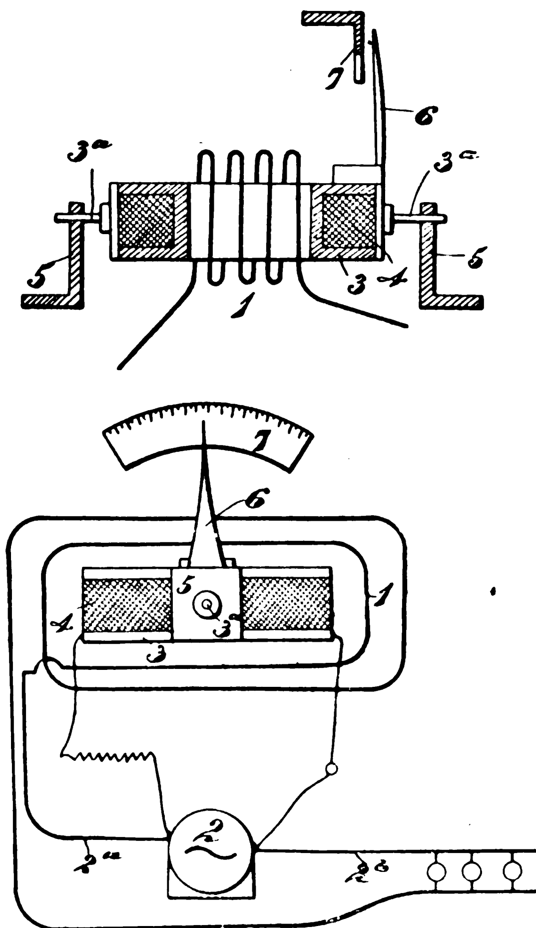


Fig. 1 et 2. — Indicateur pour courants alternatifs Mordey (1894).

si le courant sort des dynamos ou y rentre.

A cet effet, chacun des alternateurs comme 2 par exemple, porte, intercalé en série dans son circuit principal 2_a 2_b un enroulement 1, disposé autour d'un noyau 3, qui porte à angle droit de 1, un second enroulement 4, dérivé sur 2_a 2_b. La bobine 1 est fixe, 3 et 5 sont pivotés en 5 5, de sorte que leur aiguille 6 indique le sens et l'intensité des courants.

G. R.

Accumulateurs Hammacher (1894).

On traite l'oxyde de plomb, de manganèse ou d'antimoine, ou un mélange de ces oxydes par un mélange d'acide sulfurique et d'acides sulphoniques du groupe phénol ($C^{2n}H^{2n} - 7HO$) constitué, par exemple, d'une partie d'acide sulphonique, 9 d'eau et 90 de l'oxyde employé. La pâte, ainsi formée puis séchée, est placée dans un bain d'acide sulfurique dilué, qui transforme les composés plomb-phénol en des sels sulphonés insolubles, constituant des électrodes d'une grande activité et très solides.

G. R.

Mesure de l'éclairement, par E.-J. Houston et A.-E. Kennelly.

Dans la plupart des cas l'éclairage artificiel a pour objet de fournir un éclairement suffisant sur des surfaces déterminées. Dans la pratique on demande généralement un éclairement qui permette d'effectuer un travail d'une certaine nature auquel doivent nécessairement se prêter le caractère et l'intensité de cet éclairement.

Dans une bibliothèque ou un salon de lecture, ce qu'on recherche, c'est un éclairement convenable des ouvrages consultés, autrement dit des tables de lecture, le reste de la pièce pouvant d'ailleurs rester dans une obscurité relative. Dans une salle de machines, on cherche particulièrement à éclairer certaines parties mobiles. Dans les cas, cependant où la nature du travail exige de la part du surveillant des allées et venues ou l'observation à distance de la machinerie, il faut de toute nécessité éviter un contraste trop frappant

dans l'éclairement des diverses parties de la salle. Il est dès lors évident que l'emploi d'une source unique de lumière telle qu'un foyer à arc, n'est pas indiqué; car, s'il donne un puissant éclairement dans le voisinage immédiat de la lampe, il déterminera par contre des ombres incommodes qu'on ne pourra atténuer que par diffusion de la lumière ou à l'aide d'écrans transparents. Pratiquement c'est donc l'éclairement bien plus que l'intensité lumineuse des sources qu'il importe de mesurer.

Sans doute l'expérience permet à l'électricien de calculer le nombre probable et le groupement des diverses sources lumineuses répondant le mieux à l'éclairement d'un espace donné; mais on sait qu'il est impossible de donner une règle rigoureuse propre à guider sûrement dans ce cas, attendu que la nature et la couleur des surfaces et tentures ont une action très directe sur l'éclairement fourni par une disposition donnée des sources lumineuses. La question qui se pose est donc moins celle de la mesure photométrique des intensités des foyers et de leur distribution que le degré d'éclairement réellement obtenu; et elle ne peut être résolue qu'à l'aide d'un appareil mesurant cet éclairement.

Supposons, par exemple, qu'il s'agisse d'éclairer une salle de billard. En dépit de l'expérience, la question commerciale d'éclairement suffisant ou non des billards ne sera bien fixée que par une mesure effective de la lumière reçue par unité de leur surface. De même on ne pourra savoir que par la mesure directe de leur éclairement si les autres parties de la salle seront convenablement éclairées par un certain groupement des lampes mêmes des billards. Il en sera ainsi d'une salle à manger, d'une bibliothèque, toute considération d'esthétique étant naturellement laissée de côté.

Pour l'éclairage des rues, il faut avoir un éclairement suffisant de leur surface, des maisons qui les bordent, des voitures et des individus qui y circulent, de manière à permettre à chacun de les distinguer nettement à distance convenable. Cette condition impose une certaine intensité d'éclairement sur une surface donnée, et la mesure directe de l'éclairement minimum fera plus que tous les calculs relatifs à un certain nombre de conditions complexes dont l'intensité photométrique des sources lumineuses individuelles n'est qu'un des éléments.

Cette manière de procéder ferait disparaître une source de discussions perpétuelles entre les électriciens et les municipalités sur le pouvoir éclairant des lampes à arc ou à incandescence employées. Il suffirait en effet qu'il fût prévu dans les contrats que l'éclairement d'une partie quelconque de rue éclairée ne sera pas inférieure, en l'absence de clair de lune, à un certain minimum. Toute question de pouvoir éclairant des lampes individuelles échappe dès lors au contrat, et l'électricien conserve sa liberté d'allure quant à la nature des foyers et à leur espacement, du moment qu'il satisfait à la condition d'éclairement imposée au contrat.

Il n'existe guère aujourd'hui d'autre appareil propre à cette mesure directe de l'intensité d'éclairement en un point donné que le photomètre portatif du professeur Weber, à l'aide duquel on compare à l'éclairement cherché celui donné sur un écran par une petite lampe-étalon à l'acétate d'amyle ou à la benzine. Mais la difficulté d'avoir une lampe-étalon portative digne de confiance, les dimensions légèrement encombrantes de l'appareil et le fait qu'il ne résoud pas la question de comparaison entre éclairements de différentes couleurs ont conduit MM. Houston et Kennelly à imaginer un nouvel instrument basé sur des principes tout autres et appelé par eux *illuminomètre*. Nous en empruntons la description à l'*Electrical World*.

Il faut une certaine intensité d'éclairement pour rendre bien net à l'œil un certain objet vu à une distance déterminée. On sait par exemple que l'éclairement d'une page imprimée ou d'un journal doit avoir une certaine valeur pour rendre lisibles les caractères

d'impression, et que cette intensité dépend, pour un œil normal, du point et de la nature de ces caractères.

Voici comment ce principe est utilisé dans l'illuminomètre en question : un petit objet d'épreuve, tel par exemple, que des caractères d'impression, est renfermé dans une petite boîte obscure, assez réduite pour entrer facilement en poche. Cet objet est soumis à un éclairement transmis par une lame translucide de porcelaine ou de verre opale qui reçoit elle-même directement sur sa surface l'éclairement dont on cherche l'intensité. Cet objet d'épreuve recevant par transmission et diffusion subséquente la lumière à travers cette lame, c'est la surface de la plaque translucide exposée à l'objet en question, de manière à le rendre juste perceptible à l'œil, qui détermine l'intensité de l'éclairement reçu par la lame. Un oculaire est monté en face de l'objet d'épreuve de manière à annuler l'action de toute anomalie focale de vision. Un obturateur à glissement, mobile à l'aide d'une vis molletée, permet de réduire la surface effective de la lame d'opale jusqu'à ce que la quantité de lumière reçue par l'objet d'épreuve en donne juste sa perception.

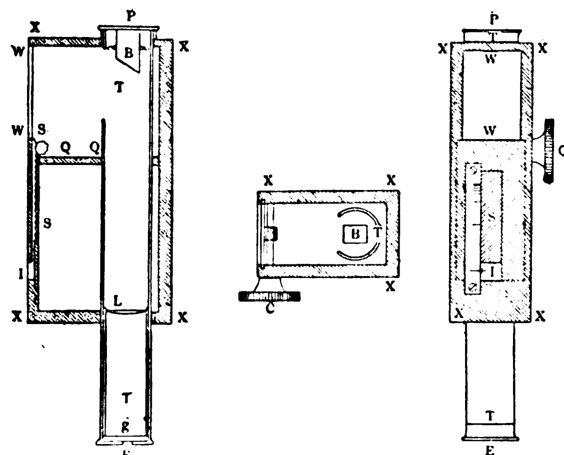


Fig. 1, 2 et 3.

Les figures 1, 2, 3, qui représentent respectivement une coupe longitudinale, une coupe transversale et une vue en plan de l'appareil facilitent l'intelligence de ses détails de construction. Une boîte XX, noircie intérieurement pour empêcher la réflexion de la lumière, est munie d'un tube TT. L'objet d'épreuve se place sur un bloc B en face de l'oculaire E. Vers sa partie supérieure la boîte porte une ouverture WW fermée par un diaphragme translucide de porcelaine, d'opale ou de toute matière analogue. Ce diaphragme est placé de manière à servir d'illuminateur secondaire de l'objet d'épreuve situé en B.

Pour permettre de régler la quantité de lumière venant de l'ouverture WW sur l'objet d'épreuve, un obturateur à glissement SS, manœuvré latéralement par la vis molletée C, est placé entre des guides au-dessous de l'ouverture, de manière à couvrir à volonté une fraction quelconque de sa surface. La surface active de celle-ci, c'est-à-dire celle qui éclaire l'objet en B, et détermine l'éclairement par l'ouverture WW, se lit directement en unités convenables à l'aide d'un index I fixé à l'obturateur et qui se meut sur une échelle divisée S.

On calibre l'instrument en exposant l'ouverture WW à des intensités connues d'éclairement dans un photomètre ou dans une chambre noire, et en marquant sur l'échelle S les points correspondants sur l'appareil.

Par éclairement d'une surface il faut entendre la quantité de lumière reçue par elle pour une aire donnée, ou le quotient de cette quantité par cette surface. Cet éclairement s'exprime en fonction d'une certaine unité obtenue d'une source définie à une distance déterminée. L'unité de chaque lumière simple est, d'après la décision de la conférence internationale de 1884, la quantité de lumière de même espèce émise normalement par un centimètre carré de platine à la température de solidification. Elle est connue sous le nom d'*étalon Violle*, et l'unité pratique de lumière blanche est la lumière totale émise par 1 centimètre carré de platine à la température de solidification. Mais, cette unité étant trop grande pour la pratique, le Congrès des Electriciens de 1889 a adopté la bougie décimale égale à 1/20 de l'unité Violle. Dans ces conditions, l'unité pratique d'éclairement est la

bougie à 1 mètre, éclairement produit par une bougie placée à 1 mètre de disiance.

Pour employer l'instrument en question à la mesure de l'éclairement superficiel d'une table exposée à la lumière du jour, à celle d'une bougie ou d'une lampe à incandescence, on place l'illuminomètre sur la table, sa fenêtre latérale en haut de telle sorte que, se trouvant à 5 cm. seulement, par exemple, au-dessus de la table, elle coïncide pratiquement avec la surface dont il s'agit de mesurer l'éclairement. On applique alors l'œil sur l'oculaire et l'on met en plein éclairement l'objet placé au foyer. On déplace ensuite progressivement l'obturateur le long de l'ouverture jusqu'à ce que l'objet d'épreuve, ici les caractères, soient juste lisibles. Le nombre d'unités d'éclairement sur la table est alors indiqué par l'échelle en regard de l'index.

Le degré de précision avec lequel peuvent se prendre ces mesures, tout en étant assez faible comparativement à celui fourni par des déterminations comme celles de longueur, de masse et de temps, n'est cependant pas inférieur à celui des mesures photométriques en général. On sait que, dans la déterminaison de l'intensité lumineuse d'une lampe à incandescence, il peut y avoir dans les résultats fournis par deux observateurs, une différence de 5 p. 100, et souvent même davantage quand les lumières à comparer ont des colorations différentes.

L'erreur moyenne d'une seule observation avec cet instrument est d'environ 10 p. 100; autrement dit, si l'on prend successivement un certain nombre de mesures d'éclairement dans les limites que comporte l'appareil, l'écart moyen d'une seule mesure comparativement à la moyenne de toutes ces mesures est, avec l'instrument ici décrit, de 10 p. 100 à peu près, bien que les auteurs espèrent arriver à réduire notablement cette erreur relative au moyen de modifications qu'ils ont en vue. C'est ce que montrent les deux tableaux ci-dessous.

Dans l'appareil représenté la graduation de l'échelle est établie par unité depuis 4 jusqu'à 15 unités, puis de cinq en cinq unités jusqu'à 35 et de 10 en 10 jusqu'à 70; le maximum qu'il peut donner est de 400 unités. La longueur totale de l'échelle est de 40 mm.; celle de tout l'instrument, de 17 cm.; sa largeur, de 4 cm.;

Observateur K. (Eclairage par incandescence).

Observations.			Différences avec la moyenne.		Différence moyenne.
Lectures.	Leur nombre.	Moyenne.			
8,5				1,684	
9,6				0,584	
9,4				0,784	
11,4			1,216		
12,2			2,016		
9,6				0,584	
9,2				0,984	
10,2			0,016		
10,5			0,316		
9,8				0,384	
10,2			0,016		
11,2			1,016		
10,6			0,416		
132,4	13	10,184	10,016		0,77

Différence : 10,016; erreur moyenne : 0,77 (7,56 p. 100).

Observateur W. A. (Lumière du jour).

Observations.			Différences avec la moyenne.		Différence moyenne.
Lectures.	Leur nombre.	Moyenne.			
47			0,5		
37				9,5	
50,5			4		
57			10,5		
43				3,5	
45				1,5	
38,5				8	
40,5				6	
46				0,5	
55			8,5		
55			8,5		
44				3,5	
47			0,5		
604,5	13	46,5	32,5	32,5	5
			65		

Différence : 65; erreur moyenne : 5 (10,75 p. 100).

et sa hauteur sans la vis molletée, de 6 cm., ce qui permet de le mettre aisément dans la poche. Il pèse 285 grammes.

On pourrait croire que deux observateurs, dont les limites de vision distincte sont différentes, sont susceptibles d'obtenir des résul-

tats différents dans la détermination d'un éclairement donné en employant cet instrument. En fait, cependant, il a été reconnu que, l'emploi de l'oculaire permettant d'accommoder à l'œil de chaque observateur la vision distincte de l'objet d'épreuve, les résultats obtenus par différents expérimentateurs ne paraissent pas différer entre eux d'une quantité supérieure aux limites d'erreur probable de l'appareil.

On sait qu'un éclairement de cinq bougies à un mètre est suffisant pour permettre de lire l'impression ordinaire, bien que, au point de vue physiologique, on ne doive pas faire lire les yeux d'une façon continue à des éclairements inférieurs à dix bougies à un mètre. Quinze à vingt-cinq de ces unités peuvent être regardées comme une lumière artificielle convenable pour la lecture. On peut de même déterminer aisément l'éclairement nécessaire à la confection d'autres genres de travaux. Il est dès lors évident que l'illuminomètre s'applique à la détermination de l'éclairement suffisant ou non d'une surface donnée, suivant la nature du travail à effectuer, et que la mesure de ces éclairements peut être prise avec des chances d'erreur raisonnable pour toutes les intensités comprises dans les limites de fonctionnement de l'appareil. On peut d'ailleurs faire varier ces limites en modifiant la nature et les dimensions de la fenêtre, aussi bien que ceux de l'objet d'épreuve.

L'avantage de cet instrument réside dans le fait qu'il dispense complètement d'employer un étalon portatif de lumière, ce qui élimine une source constante d'erreur inconnue avec les appareils antérieurement affectés à cet usage. Son maniement n'exige pas d'ailleurs une grande habileté et il peut, avec quelques simples instructions d'emploi, être mis entre des mains inexpérimentées.

On voit en outre qu'il peut servir, comme photomètre, à mesurer directement l'intensité lumineuse d'une source de lumière. Ainsi, étant donnée une lampe à incandescence montée sur son support, si l'on mesure son éclairement à la distance d'un mètre du centre de son filament, le nombre d'unités indiqué par l'instrument, sa fenêtre étant normale aux rayons issus de la lampe et toutes les autres sources de lumière supprimées, donnera immédiatement son intensité lumineuse en bougies décimales.

Les verres de l'oculaire et de la fenêtre doivent être maintenus très propres, de manière à ne pas vicier les résultats d'observation. L'emploi de l'oculaire a pour objet d'empêcher toute réduction dans la quantité de lumière venant de l'objet d'épreuve à la pupille de l'œil.

Les indications de cet appareil ne dépendant que d'une action physiologique sur l'œil et non pas du contraste entre un éclairement inconnu et un autre connu, toutes les questions relatives aux différences de coloration dans l'éclairement à mesurer disparaissent, de sorte qu'une mesure d'intensité lumineuse de lampe à arc, par exemple, peut se prendre sans qu'il soit besoin de recourir à un arc-étalon spécial. E. B.

Indicateur de l'isolement des canalisations en service, par O. Froelich (1).

Le pont de Wheatstone a trouvé des applications si multiples dans les mesures électriques, qu'on ne s'attendrait guère à pouvoir en tirer un nouveau parti. C'est pourtant ce que fait l'auteur en montrant comment on peut, à l'aide du pont, réduire à la simple lecture d'une déviation la mesure de l'isolement d'un conducteur de distribution en plein service, mesure indépendante des valeurs absolues ou relatives des tensions existantes.

Toutes les méthodes employées jusqu'à ce jour impliquent quelque manipulation, réglage d'un ou de plusieurs rhéostats, commutations, lecture d'une ou de plusieurs déviations. Quoique ces opérations soient très simples un instrument indicateur direct de l'isolement était désirable.

Pour établir le principe de l'instrument, étudions d'abord quelques propriétés du

(1) Communication faite à la Société électrotechnique de Berlin.

pont de Wheatstone, en considérant en premier lieu le cas où les résistances du pont sont quelconques, mais ne contiennent pas de f. é. m.; nous prendrons ensuite le cas plus général de l'existence de forces électromotrices dans les différents bras du pont.

Dans le diagramme habituel (fig. 1), w_1, w_2, w_3, w_4 sont les résistances des quatre bras, et les diagonales contiennent les résistances w et W, celle-ci avec une pile et une clef.

Comme dans tout le système il n'existe qu'une f. é. m., les courants dans les différentes branches sont proportionnels à cette f. é. m. Le rapport des intensités de deux de ces courants

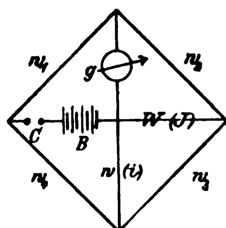


Fig. 1.

est donc indépendant de la pile et ne dépend que des résistances.

Pour des raisons que nous comprendrons plus loin, nous considérons le rapport entre les courants i et I des deux branches diagonales. Le calcul donne pour ce rapport la formule suivante :

$$\frac{i}{I} = \frac{w_1 w_3 - w_2 w_4}{w\left(w_1 + w_2 + w_3 + w_4\right) + \left(w_1 + w_4\right)\left(w_2 + w_3\right)} \quad (1)$$

On peut remarquer tout d'abord, qu'en donnant aux résistances des bras des valeurs telles que

$$w_1 w_3 - w_2 w_4 = 0,$$

le courant i disparaît. C'est le cas du montage ordinaire du pont de Wheatstone.

Il résulte encore de la formule que le rapport des courants diagonaux n'est pas seulement indépendant de la f. é. m. de la pile, mais encore de la résistance W de la branche contenant la pile.

Enfin on arrive à une simplification remarquable par l'introduction de nouvelles notations.

Nous observons que les résistances autres que w entrent dans le dénominateur sous la forme des sommes $w_1 + w_4$ et $w_2 + w_3$. En posant $w_1 + w_4 = u$ et $w_2 + w_3 = v$, le dénominateur se réduit à :

$$D = w\left(u + v\right) + uv = uvw\left(\frac{1}{u} + \frac{1}{v} + \frac{1}{w}\right).$$

Mais la quantité entre parenthèses n'est autre chose que la réciproque de la résistance réduite R des trois branches u, v, w (fig. 2).

Donc

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{u} + \frac{1}{v} + \frac{1}{w},$$

et

$$D = \frac{uvw}{R}.$$

Pour employer les mêmes désignations dans le numérateur, nous introduisons les quantités x et y (voir fig. 3) :

$$x = \frac{1}{2}\left(w_1 - w_4\right), \qquad y = \frac{1}{2}\left(w_2 - w_3\right).$$

Alors :

$$w_1 = \frac{u}{2} + x, \qquad w_4 = \frac{u}{2} - x,$$

$$w_2 = \frac{v}{2} - y, \qquad w_3 = \frac{v}{2} + y;$$

et le numérateur prend la forme

$$w_1 w_3 - w_2 w_4 = \left(\frac{u}{2} + x\right)\left(\frac{v}{2} + y\right) - \left(\frac{u}{2} - x\right)\left(\frac{v}{2} - y\right) = xv + yu.$$

Le rapport considéré devient donc :

$$\frac{i}{I} = \frac{xv + yu}{uvw} R = \frac{R}{w}\left(\frac{x}{u} + \frac{y}{v}\right). \quad (2)$$

Si l'on arrange les résistances pour que $i = 0$, on a

$$\frac{x}{u} + \frac{y}{v} = 0.$$

Considérons maintenant le cas simple (fig. 4), où $w_2 = w_3$, c'est-à-dire $y = 0$. Notre rapport a alors pour valeur

$$\frac{i}{I} = \frac{R}{uw} x, \quad (3)$$

c'est-à-dire que le rapport des courants diagonaux est proportionnel à l'excès de la résistance w_1 sur w_4.

Si les branches w_1, w_4 sont formées par un fil circulaire, et si la branche diagonale variable W se termine par un bras mobile autour du centre du cercle, la somme $u = w_1 + w_4$ reste constante, tandis que la différence $x = \frac{w_1 - w_4}{2}$ varie proportionnellement à l'angle de ce bras par rapport à la position moyenne. On a donc ainsi un moyen de faire varier le rapport $\frac{i}{I}$ d'une façon continue.

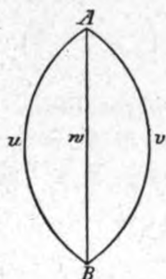


Fig. 2

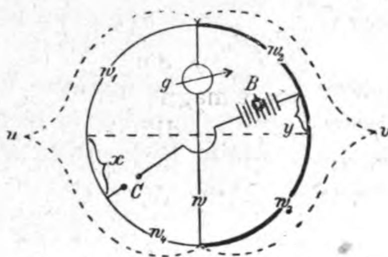


Fig 3

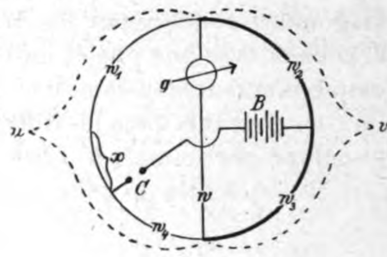


Fig. 4

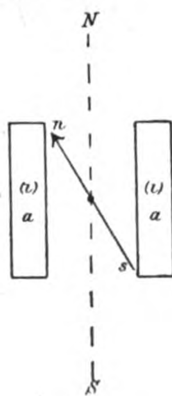


Fig. 5

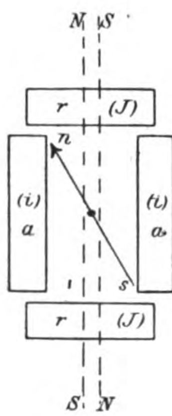


Fig. 6

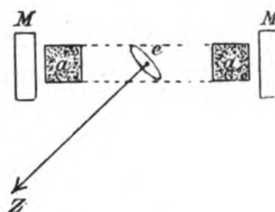


Fig 7

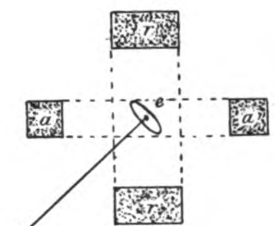


Fig. 8

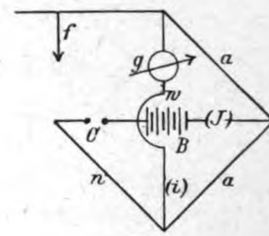


Fig. 9

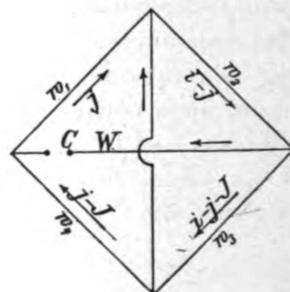


Fig. 10

Revenons maintenant à l'indicateur d'isolement.

Si toutes les résistances sauf une sont connues la détermination du rapport $\frac{i}{I}$ permet, au moyen de la formule (1), de calculer la résistance inconnue. Tout revient donc à construire un instrument donnant ce rapport; les considérations suivantes nous indiqueront la forme pratique qu'il convient de lui donner.

Dans un galvanomètre ordinaire à aiguille simple *ns* (fig. 5), deux forces agissent sur l'aiguille : celle des bobines *aa* traversées par le courant, et celle du magnétisme terrestre dans la direction NS. φ étant la déviation de l'aiguille, i le courant, H l'intensité du magnétisme terrestre, l'équation d'équilibre est

$$H \sin \varphi - ci\, f(\varphi) = 0,$$

ou

$$\frac{\sin \varphi}{f(\varphi)} = c \frac{i}{H},$$

c'est-à-dire que le quotient $\frac{i}{H}$ ne dépend que de l'angle de déviation, ou inversement, φ est une fonction de ce rapport :

$$\varphi = F\left(\frac{i}{H}\right). \qquad (4)$$

Si l'on remplace le magnétisme terrestre par une force directrice électrique, en disposant deux bobines *rr* traversées par le courant I perpendiculairement aux bobines *aa* (fig. 6), et en compensant le magnétisme terrestre par l'action d'un aimant, on a lorsque l'équilibre existe,

$$Ig(\varphi) - if(\varphi) = 0,$$

d'où

$$\frac{g(\varphi)}{f(\varphi)} = \frac{i}{I},$$

ou inversement

$$\varphi = G\left(\frac{i}{I}\right) \qquad (5)$$

Dans ce cas la déviation ne dépend donc que du rapport des deux courants i et I, et peut servir à les mesurer si l'on a préalablement dressé une table reliant la déviation à ce rapport, opération qui s'effectue en utilisant la disposition du pont de Wheatstone considérée en dernier lieu.

Un instrument de ce genre est, au repos, en équilibre instable ; mais on peut prendre pour la position du zéro celle que donne à l'aiguille le courant directeur des bobines *rr*, et le courant i peut alors être considéré comme celui produisant la déviation.

Ce principe est déjà appliqué dans le compteur de la maison Siemens et Halske. La bobine *aa* (fig. 7) de cet instrument agit sur une aiguille en fer doux soumise simultanément à l'action de l'aimant permanent MM. En remplaçant cet aimant par une bobine *rr* (fig. 8), et en compensant l'action du magnétisme terrestre, nous obtenons un instrument dont les déviations ne dépendent que du rapport des courants dans les deux bobines.

Cet instrument peut servir tout d'abord à la mesure de l'isolement d'une installation au repos. En prenant dans le pont (fig. 9) deux bras égaux *aa*, en remplaçant le bras n par une boîte de résistances, et en reliant l'installation, dont l'isolement est f, en un point quelconque au pont, on a pour rapport de i à I.

$$\frac{i}{I} = \frac{(f - n)a}{2wn + 4na + 2aw + (f - n)(w + 2a)}.$$

Dans cette expression $(f - n)$ est l'inconnue ; le rapport des courants n'est donc pas simplement proportionnel à cette différence, mais il croît avec elle de moins en moins vite, à peu près comme l'induction magnétique d'un électro-aimant croît avec la force magnétomotrice. Si l'on donne à la résistance n différentes valeurs, chacune d'elles nécessite une échelle particulière.

Cette disposition donne donc une mesure de l'isolement sans manipulation autre que l'établissement de la connexion avec l'installation.

Il reste maintenant à examiner si ce genre de mesures est applicable au cas d'une installation en plein fonctionnement.

Quand on introduit l'isolement de l'installation dans une des branches du pont (fig. 9), on a déjà, avant de fermer le circuit de la pile, dans toutes les branches, des courants dépendant de la différence de potentiel de l'installation par rapport à la terre. En fermant le circuit de la pile, on ajoute les courants dus à celle-ci, et dans ces conditions, le rapport de deux quelconques des courants résultants n'est plus indépendant des forces électromotrices en jeu.

Ces f. é. m. disparaissent, au contraire, quand on considère, non les courants, mais les différences de courants qui se produisent par la rupture et la fermeture de la clef de pile.

C'est ce qu'on peut démontrer d'une manière générale. Dans le diagramme (fig. 10) la branche 1 contient une force électromotrice e_1 et une résistance w_1 ; la branche 2 : e_2 et w_2, etc.; la branche diagonale fixe e, w ; la branche diagonale variable : E, W. Les courants correspondants sont j, $i + j$, $i + j - I$, $j - I$, i et I. On peut alors écrire les équations simultanées suivantes :

$$e_1 + e_4 - c = jw_1 + (j - I)\, w_4 - iw,$$
$$e_2 + e_3 + e = (i + j)\, w_2 + (i + j - I)\, w_3 + iw,$$

ou :

$$e_1 + e_4 - e = j(w_1 + w_4) - iw - Iw_4$$
$$e_2 + e_3 + c = j(w_2 + w_3) + i(w + w_2 + w_3) - Iw_2.$$

Ces équations ne contiennent pas E. Par conséquent si, par la rupture ou la fermeture de la clef de pile, on modifie cette force électromotrice, les équations correspondant à ces nouvelles conditions du pont ne différeront des précédentes que par le changement de i en i', I en I' et j en j'.

Ces nouvelles équations retranchées des premières fournissent

$$o = (j - j')(w_1 + w_4) - (i - i')w - (I - I')w_4$$
$$o = (j - j')(w_2 + w_3) + (i - i')(w + w_2 + w_3) - (I - I')w_2.$$

Ces équations sont indépendantes des f. é. m., et en éliminant une des trois différences de courants on obtient pour le rapport des deux autres une valeur définie seulement par les résistances en présence.

Pour les deux diagonales, on obtient en éliminant $j - j'$, un rapport $\frac{i - i'}{I - I'}$ ayant la même expression que celle trouvée plus haut (voir équation 1) pour $\frac{i}{I}$. Dans ce cas on annule $i - i'$ en faisant

$$w_1 w_3 - w_2 w_4 = o;$$

c'est le théorème général du pont de Wheatstone.

Tout ce qui a été dit dans le cas précédent à propos du rapport $\frac{i}{I}$, s'applique ici au rapport $\frac{i - i'}{I - I'}$ que l'on peut également mettre sous la forme de l'équation (3).

Il s'agit maintenant de représenter par la déviation d'un instrument le rapport des variations de courant qui se produisent en ouvrant et fermant successivement le circuit de la pile. Il est évident qu'il suffit pour cela de faire passer dans les deux bobines de notre instrument précédent les différences respectives $i - i'$ et $I - I'$ ou des courants d'intensités proportionnelles à ces différences. Comme moyen le plus simple se présente la bobine d'induction sans noyau de fer ou avec peu de fer. Les contacts intermittents dans le circuit de la pile doivent être établis par un commutateur tournant. Les primaires des bobines d'induction font partie des deux branches diagonales du pont, les secondaires étant reliés aux deux bobines perpendiculaires de l'instrument.

Le montage est alors disposé comme l'indique la figure 11.

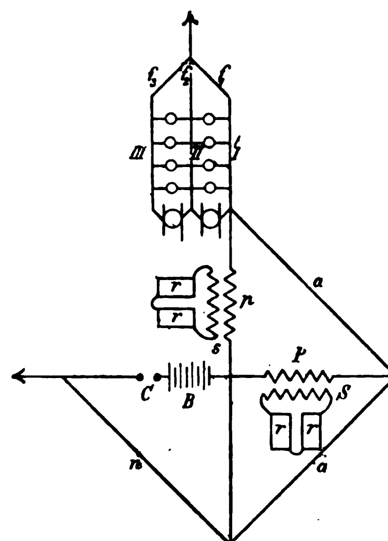


Fig. 11

L'installation (à trois fils, par exemple, avec les défauts d'isolement f_1, f_2 et f_3) est reliée au pont, le point opposé de celui-ci, à la terre. Dans la branche de la pile B, avec le contact C se trouve le primaire P, dans l'autre branche diagonale le primaire p. Les secondaires S et s sont reliés aux deux paires de bobines de l'instrument, qui indique directement la résistance d'isolement. Il y a trois échelles correspondant aux valeurs 1, 10 et 100 ohms de la branche n.

La présence de la pile n'est pas absolument nécessaire, puisque le rapport $\frac{i}{I}$ ne dépend pas de E; toutefois elle est utile pour fournir à l'instrument une force directrice suffisante. Dans l'instrument exécuté, la bobine d'induction du circuit de la pile est supprimée, et ce circuit n'est pas rompu, mais subit seulement

des variations périodiques de résistance. A cet effet, un commutateur est mis en mouvement par un moteur dont on peut régler approximativement la vitesse. L'instrument fonctionne bien indépendamment des potentiels absolus des conducteurs dont on veut mesurer l'isolement; mais les variations exagérées de ces potentiels sont nuisibles. Ce cas est néanmoins exceptionnel, et l'instrument a fonctionné régulièrement pendant des mois dans une installation de Berlin.

A. H.

REVUE DES SOCIÉTÉS SAVANTES ET DES PUBLICATIONS SCIENTIFIQUES

Société de physique.

19 juillet 1895.

M. *Limb* décrit la méthode et les appareils qu'il a employés pour la *mesure directe des forces électromotrices en unités C.G.S.* (1).

M. *Broca* montre à la Société *quelques expériences sur l'étincelle électrique*, fort bien réussies, et dont il tire quelques conséquences intéressantes.

Nous ne faisons que signaler ces deux communications qui seront très prochainement développées dans ce journal par leurs auteurs.

Note sur quelques amalgames liquides saturés, par Gouy (2)

« Les amalgames liquides étant employés dans certaines recherches électriques, j'ai eu l'occasion de mesurer la teneur de plusieurs d'entre eux. Ces amalgames étaient préparés, soit par électrolyse, soit en dissolvant le métal à chaud, puis à la température ambiante, débarrassés de l'excès d'amalgame solide non dissous, par décantation et filtration à travers une peau de chamois, enfin analysés par des méthodes appropriées.

« Voici, par ordre de solubilité, la richesse, c'est-à-dire le rapport du poids dissous au poids total :

Fer	0
Cuivre	0,00001
Argent	0,0003
Or	0,0013
Etain	0,006
Bismuth	0,012
Plomb	0,013
Zinc	0,018
Cadmium	0,040
Alliage Darcet	0,38

« Ce tableau montre que le fer est entièrement insoluble; l'amalgame liquide à 1 ou 2 p. 100, dont Joule et d'autres auteurs ont fait mention, est formé de parcelles d'amalgame solide en suspension dans le mercure, et ne se distingue pas d'un liquide à simple vue en raison de l'opacité du métal. Par des filtrations répétées à travers une peau de chamois, on obtient du mercure absolument pur.

« Le cuivre est extrêmement peu soluble, ce qui concorde bien avec la longue conservation des appareils en cuivre rouge, mis au contact du mercure. L'argent est encore très peu soluble, les autres métaux un peu plus. Enfin l'alliage Darcet est fort soluble. Ces solubilités sont relatives aux températures de 15 degrés à 18 degrés, et augmentent rapidement avec la température. »

Une théorie des moteurs synchrones par W.-G. Rhodes (1).

Suivant l'auteur, la plupart de ceux qui ont traité cette question se sont laissés entraîner dans des complications mathématiques bien inutiles. En présentant celle qui suit, il a voulu montrer qu'il est possible d'éviter ces difficultés.

Il considère un moteur dont le champ ma-

(1) Voir. *La Lumière Electrique*, t. LIII, p. 141, 7 juillet 1894.

(2) *Journal de physique*, 3e série. t. IV, p. 320, juillet 1895.

(1) *Philosophical Magazine*, t. XL, p. 56-63; juillet 1895.

gnétique est excité par un courant continu et dont l'armature est parcourue par un courant sinusoïdal.

Soient :

p, la puissance extérieure du moteur;
c, l'intensité efficace du courant dans l'armature;
R, la résistance de celle-ci ;
E, la force électromotrice efficace imprimée;
e, la force contre-électromotrice efficace;
L, le coefficient de self-induction de l'armature;
n, la fréquence du courant d'armature;
I, l'impédance de l'armature, c'est-à-dire

$$[R^2 + (2\pi n L)^2]^{\frac{1}{2}}$$

S, la réactance, c'est-à-dire $2\pi n$L;
ψ, la différence de phase entre c et E,
φ, la différence de phase entre c et e;
θ, la différence de phase entre c et Ic.

L'énergie totale dépensée par unité de temps est égale à la somme de l'énergie produite par le moteur et de celle qui est transformée en chaleur par suite de l'effet Joule; elle est donc

$$p + Rc^2.$$

Mais, d'autre part, cette énergie est due au courant qui circule dans l'armature et a pour expression

$$Ec \cos \psi.$$

Par conséquent on a l'équation

$$p + Rc^2 = Ec \cos \psi,$$

qui, résolue par rapport à c donne,

$$c = \frac{E}{2R} \cos \psi \pm \frac{1}{2R} \sqrt{E^2 \cos^2 \psi - 4pR}. \qquad (1)$$

L'intensité c étant nécessairement une quantité réelle on doit avoir

$$E^2 \cos^2 \psi \geqq 4pR,$$

inégalité qui montre que la puissance du moteur ne peut dépasser

$$p = \frac{E^2}{4R}, \qquad (2)$$

et que ce maximum a lieu quand $\psi = 0$, c'est-à-dire quand le courant et la force électromotrice ne présentent pas de différence de phase.

L'intensité du courant, donnée par l'équation (1), est alors

$$c = \frac{E}{2R}, \qquad (3)$$

La valeur de la force contre-électromotrice e s'obtient en remarquant que E, e et Ic (résultante de Sc et Rc renversé) se font géométriquement équilibre (fig. 1). En projetant ces vecteurs sur la direction de E et sur une direction perpendiculaire à celle-ci on a

$$- e \cos \varphi = E - Rc, \qquad e \sin \varphi = Sc,$$

et on en déduit, en tenant compte de (3),

$$e^2 = (R^2 + S^2)c^2 = I^2c^2,$$

d'où

$$e = Ic = \frac{IE}{2R}, \qquad (4)$$

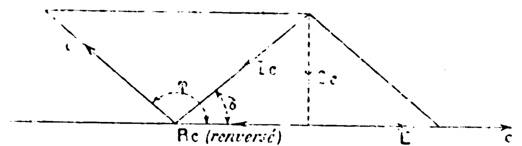


Fig. 1.

De ces mêmes égalités on déduit, en outre,

$$- \operatorname{tang} \varphi = \frac{S}{R}.$$

et comme ce dernier quotient n'est autre que tang θ, on voit que dans un moteur donnant le maximum de puissance extérieure, la différence de phase entre le courant et la force électromotrice Ic nécessaire pour vaincre la résistance et la self-induction de l'armature est égale et de signe contraire à la différence de phase entre le courant et la force contre-électromotrice.

L'égalité (4) montre que e est plus grand ou plus petit que E suivant que I est plus grand ou plus petit que 2 R, c'est-à-dire suivant que

$$R^2 + (2\pi n L)^2 \gtrless 4R^2,$$

ou

$$L \gtrless \frac{R\sqrt{3}}{2\pi n}.$$

L'auteur examine ensuite le cas où le moteur tourne à vide. On a alors, en négligeant les frottements, $p = 0$ et comme $p = ce \cos \varphi$, on déduit $\varphi = \pm \frac{\pi}{2}$; la force contre-électromotrice présente donc une différence de phase de $\frac{\pi}{2}$ avec le courant.

Dans ce cas l'équation (1) se réduit à

$$Rc = E \cos \psi,$$

qui montre que quand $\psi = 0$ le courant prend une valeur maxima $\frac{E}{R}$ (celle produite par une une force électromotrice E agissant sur une résistance non inductive R) et qu'il s'annule pour

$$\varphi = \pm \frac{\pi}{2}.$$

La force électromotrice E est liée aux autres quantités par la relation

$$E^2 = e^2 + l^2c^2 + 2lce \cos(\theta - \varphi),$$

déduite de la figure 1 dans le cas général où E et c n'ont pas la même phase. Si l'on y fait

$$\varphi = \pm \frac{\pi}{2},$$

on obtient

$$E^2 = e^2 + l^2c^2 \pm 2lce \sin \theta,$$

ou

$$E^2 = e^2 + l^2c^2 \pm 2Sce, \qquad (5)$$

le signe + correspondant au cas où la machine fonctionne comme génératrice du courant, le signe — à celui où elle fonctionne comme moteur.

Cette relation (5) donne pour la force électromotrice

$$e = \mp \frac{ES}{R},$$

lorsque le courant est maximum ($\psi = 0$), et

$$e = \pm E,$$

lorsque le courant est minimum, cas où

$$\psi = \pm \frac{\pi}{2}.$$

Si on la résout par rapport à c, on obtient

$$c = \pm \frac{eS}{l^2} \pm \frac{1}{l^2}\sqrt{l^2E^2 - R^2e^2}, \qquad (6)$$

et comme c est nécessairement réel, on doit avoir

$$lE \leqslant Re,$$

inégalité qui montre que la valeur maxima de e est

$$e = \pm \frac{lE}{R},$$

valeur à laquelle correspond un courant

$$c = \mp \frac{eS}{l^2} = \mp \frac{SE}{Rl},$$

Il est facile de voir que si l'on prend le signe

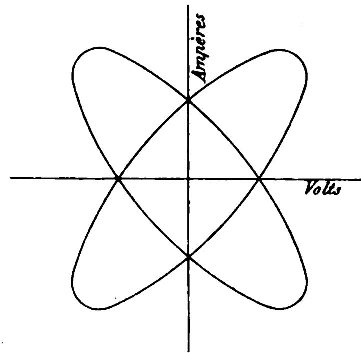


Fig. 2.

— dans le second membre de l'équation (5), cette équation peut s'écrire

$$\frac{(e - Sc)^2}{E^2} + \frac{c^2}{\frac{E^2}{R^2}} = 1 ;$$

la courbe caractéristique d'un moteur tournant à vide est donc une ellipse ayant pour diamètres conjugués les droites

$$e - Sc = 0 \quad \text{et} \quad c = 0.$$

Si l'on prend le signe + on trouve pour la courbe caractéristique de la machine fonctionnant comme génératrice une ellipse ayant pour diamètres conjugués

$$e + Sc = 0 \quad \text{et} \quad c = 0.$$

La figure 2 représente ces deux ellipses.

L'auteur examine en dernier lieu le cas où le moteur produit une puissance donnée.

Si l'on veut que le courant soit minimum

on doit avoir $\frac{dc}{d\psi} = 0$. Or l'équation

$$p + Rc^2 = Ec \cos\psi,$$

donne

$$(2Rc - E\cos\psi)\frac{dc}{d\psi} + Ec\sin\psi = 0,$$

qui montre que, quand la condition précédente est remplie, on doit avoir $\psi = 0$. Le courant est donc minimum quand il a la même phase que la force électromotrice, ce qui était d'ailleurs évident.

On a alors

$$p + Rc^2 = Ec \quad (7)$$

égalité qui est satisfaite pour les systèmes des valeurs suivantes

$$\left.\begin{array}{l} c = 0 \\ p = 0 \end{array}\right\} (a) \qquad \left.\begin{array}{l} c = \frac{E}{2R} \\ p = \frac{E^2}{4R} \end{array}\right\} (b) \qquad \left.\begin{array}{l} c = \frac{E}{R} \\ p = 0 \end{array}\right\} (c).$$

Si l'on se reporte aux résultats précédemment trouvés on voit que la courbe correspondant à l'équation (7) passe par les points qui correspondent

(*a*) au courant nul et à une puissance nulle;

(*b*) à la puissance maxima;

(*c*) au courant maximum et une puissance nulle.

On peut encore chercher dans quel cas la différence de phase ψ est maxima.

De la relation

$$p + Rc^2 = Ec\cos\psi,$$

on déduit

$$\psi = \arc\cos\frac{p + Rc^2}{Ec},$$

d'où

$$\frac{d\psi}{dc} = \frac{Rc^2 - p}{c\sqrt{E^2c^2 - (p + Rc^2)^2}},$$

par conséquent ψ devenu maximum quand $p = Rc^2$ c'est-à-dire quand le rendement électrique du moteur est 1/2.

Enfin si l'on veut la caractéristique du moteur donnant une puissance donnée il suffit d'élimininer θ et φ entre les équations

$$p = ce\cos\varphi, \quad \sin\theta = \frac{S}{I}$$

$$E^2 = e^2 + I^2c^2 + 2I\,ce\cos(\theta - \varphi)$$

ce qui donne

$$E^2 - e^2 - I^2c^2 - 2Rp = 2S\sqrt{e^2c^2 - p^2}, \quad (8)$$

qui est l'équation que Steinmetz appelle *équation fondamentale des moteurs synchrones* et dont il part pour l'étude de ces moteurs.

Pour montrer que les considérations, en quelque sorte élémentaires, qui précèdent peuvent souvent être suffisantes, l'auteur les applique au cas d'un moteur de 50 kilowatts alimenté par une génératrice de 1000 volts et pour lequel on a $R = 3$ ohms, $S = 4$ ohms, $I = 5$ ohms.

L'équation (2) donne pour la puissance maxima

$$p = \frac{E^2}{4R} = \frac{10^6}{12} = 83,3 \text{ kilowatts}.$$

Le courant correspondant est d'après (3)

$$c = \frac{E}{2R} = \frac{10^3}{2 \times 3} = 166,7 \text{ ampères},$$

et la force contre-électromotrice, d'après (4)

$$e = \frac{IE}{2R} = \frac{5 \times 10^3}{2 \times 3} = 833,3 \text{ volts}.$$

Le courant maximum quand le moteur tourne à vide est

$$c = \frac{E}{R} = \frac{10^3}{3} = 333,3 \text{ ampères}$$

et la force contre-électromotrice correspondante a pour valeur

$$e = \frac{ES}{R} = \frac{4 \times 10^3}{3} = 1333,3 \text{ volts}.$$

J. B.

Sur l'emploi d'un voltamètre à iode pour la mesure des faibles courants, par E.-F. Herroun (1).

En général, la mesure directe de l'intensité des courants par l'électrolyse s'effectue au moyen de voltamètres à hydrogène, à argent ou à cuivre. Tous ces instruments offrent des inconvénients qui ont une grande importance,

(1) *Philosophical Magazine*, t. XL, p. 91-95, juillet 1895.

principalement dans le cas où l'intensité de courant que l'on mesure est très faible.

Le voltamètre à hydrogène, formé de deux plaques de platine plongées dans de l'acide sulfurique dilué, présente les inconvénients suivants :

1° Il acquiert une force contre-électromotrice de polarisation considérable qui a pour effet de rendre très peu constant le courant qui le traverse.

2° Sa résistance interne présente de grandes variations suivant la vitesse et la façon dont se dégagent les gaz mis en liberté.

3° L'oxygène dissous dans l'acide dilué ou qui provient de l'anode par migration, diminue la quantité d'hydrogène recueilli à la cathode et fausse ainsi la mesure.

4° Des bulles restent adhérentes aux électrodes ou aux parois des tubes de verre destinés à les recueillir, et il en résulte une erreur, appréciable surtout lorsqu'on opère avec de faibles courants.

5° Les corrections de température, de pression et d'humidité, qu'il faut faire subir aux volumes mesurés, introduisent de nouvelles erreurs, surtout la correction résultant de l'humidité, car elle exige la connaissance de la force élastique maxima de la vapeur d'eau émise par l'acide dilué, force élastique qui est souvent inconnue.

Il est vrai que dans le voltamètre à argent ces diverses causes d'erreurs sont évitées, à l'exception de la troisième, car on sait que le poids d'argent déposé par un même courant est plus grand quand l'électrolyse s'effectue dans le vide ou dans l'hydrogène que quand elle a lieu dans l'air. Toutefois, l'emploi de ce voltamètre présente des difficultés nombreuses à cause de la nécessité de laver et sécher avec soin le dépôt, puis de le peser avec une très grande exactitude. Dans le cas de faibles courants, cette dernière opération est très délicate, et l'on n'a pas la ressource d'en augmenter la précision en augmentant le poids du dépôt par une durée plus longue de l'expérience, car alors il devient presque impossible de maintenir constante l'intensité du courant pendant la durée de cette expérience.

Ces mêmes difficultés se retrouvent dans le cas du voltamètre à cuivre. La précision de la pesée se trouve même diminuée, car, pour une même intensité de courant et pour une même durée de l'expérience, le poids de cuivre recueilli n'est que les $\frac{31,75}{108}$ de celui de l'argent. De plus, le dépôt de cuivre risque de s'oxyder pendant les lavages et les dessiccations ; il est vrai que l'augmentation de poids résultant de cette oxydation compense la perte de poids provenant de la présence d'oxygène dissous, mais on ignore si cette compensation est rigoureuse.

Pour éviter ces inconvénients et ces difficultés, l'auteur a eu l'idée de recourir à l'électrolyse d'une solution neutre d'un iodure métallique, puis de déterminer le poids d'iode mis en liberté au moyen de solutions titrées. L'équivalent électro-chimique de l'iode étant l'un des plus élevés et le titrage de cet élément par une solution d'hyposulfite de sodium atteignant et dépassant même la précision que l'on peut obtenir dans les pesées d'un dépôt métallique, ce procédé de mesure des courants ne peut donner que d'excellents résultats.

En l'expérimentant, l'auteur a reconnu que l'emploi d'une solution neutre d'iodure de potassium et de deux électrodes de platine ne convient pas ; la potasse formée à la cathode peut, par diffusion, venir au contact de l'iode mis en liberté à l'anode et donner de l'iodure et de l'iodate ; en outre, la force électromotrice de polarisation des électrodes est considérable dans ces conditions.

Après divers essais, le professeur Herroun s'est arrêté à une solution neutre d'iodure de zinc à 10 ou 15 p. 100, solution qui se conserve très bien si l'on a soin d'y suspendre une petite lame de zinc. L'anode est une plaque ou disque de platine placée au fond d'un vase profond et étroit et reliée au circuit extérieur par un fil de platine scellé dans un tube de verre traversant la solution. De cette façon,

l'iode n'est mis en liberté que dans la partie inférieure de la colonne liquide et, à cause de sa grande densité, il ne peut guère se diffuser vers le haut. La cathode est un cylindre de zinc amalgamé entouré d'une enveloppe de papier à filtre ou d'une étoffe de lin dans le but d'empêcher des parcelles de zinc de tomber au fond du vase; il plonge de quelques centimètres seulement dans la solution.

Il a été reconnu qu'avec une surface d'anode de 9 cm² et des courants ne dépassant pas 1/20 d'ampère, il n'y avait, dans le voisinage de la cathode aucune trace d'iode diffusé après une heure d'expérience. Avec des courants plus faibles, exigeant, par suite, une plus longue durée de l'expérience, la diffusion est à craindre, et l'auteur conseille, dans ce cas, de placer les électrodes dans les deux branches verticales d'un tube en U contenant la solution électrolytique et de mettre un fort tampon d'amiante dans la coudure du tube; mais cette disposition offre nécessairement une plus grande résistance que la précédente. Avec des courants intenses, il se produit une « convection électrique » qui facilite la diffusion de l'iode dans toute la solution; aussi l'auteur ne considère-t-il pas son procédé comme applicable à la mesure de ces courants, à moins que l'on ne désire qu'une mesure approximative, mais rapide.

Comme dans l'emploi du voltamètre à argent, il est utile de mettre le voltamètre à iode en série avec un fil très résistant, de manière à pouvoir compenser les variations de résistance du voltamètre lui-même; un galvanomètre placé sur le circuit permet de s'assurer de la constance du courant.

Dès que l'on cesse de faire passer le courant dans le voltamètre, on retire le cylindre de zinc, on agite la solution et on procède à la détermination de l'iode mis en liberté au moyen de la solution d'hyposulfite de sodium. L'équivalent électro-chimique de l'iode étant tel qu'un poids de 0,001314 gr. de ce corps est mis en liberté par un coulomb, il convient, pour la commodité des calculs et la facilité de la mesure, de prendre une solution d'hyposulfite telle que 1 cm³ de cette solution corresponde à 5 fois ce poids, soit 0,00657 gr. d'iode. Cette concentration correspond à 12,845 gr. d'hyposulfite de sodium pur par litre. Il est d'ailleurs nécessaire de titrer de temps en temps cette solution au moyen d'une solution d'iode de titre connu.

Comme exemple de la précision que l'on peut obtenir avec cet appareil, l'auteur cite la double mesure suivante :

Mesure par le voltamètre à argent.

Déviation du galvanomètre . .	20°
Durée du passage du courant dans un voltamètre à argent.	2 heures.
Poids d'argent déposé	0,2122 gr.
Intensité du courant de suite de ce poids	0,0261 amp.

Mesure par le voltamètre à iode.

Déviation du galvanomètre. .	20°
Durée du passage du courant dans un voltamètre à iode .	30 minutes.
Volume de la solution d'hyposulfite employée	9,6 cm³.
Nombre de coulombs	5 × 9,6 = 48 coulombs.
Intensité du courant	48 : 1800 = 0,0266.

On voit que les valeurs trouvées pour l'intensité du courant concordent parfaitement, et que la valeur donnée par le voltamètre à argent est un peu plus faible que celle donnée par le voltamètre à iode, ce qui s'accorde avec les remarques faites plus haut. On voit, en outre, que la durée de la seconde mesure n'est que le quart de celle de la première.

En résumé, l'emploi du voltamètre à iode se recommande, d'après l'auteur, par les avantages suivants :

1° L'oxygène dissous dans l'électrolyte n'a pas d'influence sur les résultats, ainsi qu'il arrive dans les voltamètres où l'on détermine le poids de cathion mis en liberté.

2° La durée du passage du courant peut être considérablement diminuée.

3° La détermination du poids d'iode mis en liberté demande peu de temps.

4° Le calcul des résultats est aisé et rapide.

Ajoutons que l'on peut, si l'on n'a pas à sa disposition d'iodure de zinc, prendre une dis-

solution contenant 15 p. 100 de chlorure de potassium et environ 5 pour 100 d'iodure. Les courants d'intensité suffisamment faibles ne peuvent mettre le chlore en liberté à l'anode et, d'ailleurs, s'il en était ainsi, ce chlore réagirait immédiatement sur l'iodure.

J. B.

Pouvoirs thermoélectriques des métaux et alliages entre les températures d'ébullition de l'eau et de l'air liquéfié, par James Dewar et J.-A Fleming (1).

Profitant des puissants moyens dont ils disposent pour la préparation de masses considérables de gaz liquéfiés, les auteurs, après avoir étudié la résistance des métaux et alliages aux basses températures (2), se sont récemment occupés de l'étude des pouvoirs thermoélectriques.

Les couples employés étaient formés de deux fils de plomb reliés par un fil intermédiaire d'un métal ou alliage quelconque M. Les fils de plomb, obtenus par pression, avaient 0,0656 cm. de diamètre et 50 cm. de longueur. Les autres fils métalliques avaient des diamètres variant de 0,025 à 0,15 cm. quelquefois ces fils étaient remplacés par des bandes étroites et très minces. Ces fils ou bandes étaient soudés avec soin aux fils de plomb et un ruban de soie paraffiné enroulé autour de chaque fil assurait un bon isolement de tout le couple sauf à l'une des soudures.

Un certain nombre de ces couples étaient accolés les uns aux autres, les soudures nues formant un groupe, les soudures isolées en formant un autre. Ce dernier était plongé dans de la glace finement écrasée et débarrassée de l'eau de fusion; le premier était porté à des températures variant de 100° à — 200° C.

Ces températures étaient évaluées au moyen du thermomètre à résistance de platine, procédé déjà employé par les auteurs dans leurs précédentes recherches et qui leur avait donné d'excellents résultats. D'ailleurs ce choix se trouvait encore motivé par ce fait qu'ils ne se proposaient pas seulement de mesurer des températures stationnaires, ainsi qu'ils le faisaient dans leur étude de la résistance électrique, mais voulaient évaluer des températures variant d'une façon continue et assez rapide.

Pour diverses raisons ce thermomètre devait avoir une forme spéciale; il était construit de la manière suivante : un tube de cuivre de 0,62 cm. de diamètre interne et de 3,2 cm. de long était entouré de deux demi-cylindres de cuivre; l'un deux était soudé au tube, l'autre en était isolé par une mince feuille de mica. L'ensemble formait un cylindre métallique que l'on enveloppait d'une feuille de mica sur laquelle on enroulait 100 cm. de fil de platine recuit et isolé à la soie, donné par le professeur Callendar; les extrémités de ce fil étaient respectivement soudées aux deux demi-cylindres. Enfin ceux-ci étaient encore soudés à des fils de platinoïd n° 18 S. W. G. de 30 cm. de longueur soudés eux-mêmes à des fils de cuivre isolés. Un second appareil, tout à fait semblable au précédent à cela près qu'il ne portait pas de fil de platine et que les deux demi-cylindres étaient reliés métalliquement, était construit dans le but d'éliminer, dans les mesures, la résistance des fils de platinoïd et des blocs de cuivre.

Comme on le voit, le thermomètre se composait d'un fil de platine, de blocs de cuivre et de fils de platinoïd. La présence de ces derniers était indispensable pour l'exactitude des mesures. On sait, en effet, d'après les expériences des auteurs, que la conductibilité électrique des métaux purs est très élevée aux basses températures et il est permis d'en conclure que la conductibilité calorifique doit également être très grande dans ces conditions. On pouvait donc craindre que, quand on laissait se réchauffer lentement l'huile de paraffine dans laquelle était plongé le thermomètre, ce réchauffement n'ait principalement pour cause la chaleur passant par con-

---

(1) *Philosophical Magazine*, t. XL, p. 95-119; juillet 1895.

(2) Dewar et Fleming. *Phil. Mag.*, t. XXXIV, p. 326; 1892 et t. XXXVI, p. 271; 1893. — *La Lum. Elect.* t. XLVI, p. 243 et t. XLIX, p. 591.

ductibilité dans les fils de cuivre, auquel cas la température indiquée par le thermomètre eût été nécessairement plus élevée que celle de la paraffine. Les fils de platinoïd, beaucoup moins bons conducteurs que ceux de cuivre, agissaient en quelque sorte comme un obstacle à la propagation de la chaleur.

La résistance du thermomètre et celle de son duplicata étaient mesurées au moyen d'un pont à corde. On a trouvé pour la résistance du fil de platine seul, à la température de la glace fondante et à celle de l'eau bouillante.

$$R_0 = 7{,}303 \text{ ohms}, \qquad R_{100} = 10{,}140 \text{ ohms}.$$

On en conclut pour le coefficient de la variation de la résistance entre 0° et 100°

$$\alpha = \frac{R_{100} - R_0}{100 R_0} = 0{,}003\,885,$$

et si l'on porte ces valeurs dans la relation

$$pt = 100 \frac{R - R_0}{R_{100} - R_0},$$

qui définit la température pt évaluée dans l'échelle du thermomètre considéré, on trouve

$$pt = 35{,}25\ R - 257{,}42.$$

Ce thermomètre, que les auteurs désignent par P_2, indiquait — 81°,9 pour la température de fusion de la neige carbonique dans l'éther sous la pression de 76 cm. et — 197°,6 pour la température d'ébullition de l'oxygène liquide sous la même pression.

Il s'agissait ensuite de comparer ce thermomètre au thermomètre étalon, à résistance de platine aussi, employé dans des études antérieures. Ce thermomètre étalon, P_1, avait pour constante,

$$R_0 = 3{,}1059 \text{ ohms}, \qquad R_{100} = 4{,}2034 \text{ ohms},$$

$$\alpha = \frac{R_{100} - R_0}{100\, R_0} = 0{,}003534,$$

ce qui donne

$$pt = 91{,}12\ R - 283{,}0.$$

Il indiquait — 81°,3 pour la température de fusion de la neige carbonique dans l'éther sous la pression de 76 cm. et — 193°,3 pour la température d'ébullition de l'oxygène sous la même pression. Au moyen de ces résultats il était facile de construire une courbe reliant les indications du thermomètre de travail P_2 au thermomètre étalon P_1.

Le thermomètre P_2 était très sensible ; dans le voisinage de — 196°,7 il était possible d'apprécier une variation de résistance correspondante à une variation de température d'un vingt-cinquième de degré.

Pour que les températures indiquées soient bien celles auxquelles se trouvaient les soudures nues des couples thermoélectriques, celles-ci étaient placées à l'intérieur du cylindre de cuivre creux du thermomètre. La force électromotrice était mesurée à l'aide d'un potentiomètre, constitué par le fil du pont servant à la mesure de la résistance thermométrique ; un élément Clark servait d'étalon de force électromotrice. Nous renvoyons au mémoire original pour la description de la disposition expérimentale.

Les expériences étaient conduites de la manière suivante :

Les soudures isolées étant placées dans la glace fondante et les soudures nues introduites dans le tube de cuivre du thermomètre, on plaçait celui-ci dans un tube de cuivre, fermé par le bas, de manière à ce qu'il n'en touche pas les parois. On remplissait ce tube d'huile de paraffine et on l'introduisait à son tour dans un tube à essai que l'on refroidissait à — 200° environ au moyen d'air liquéfié. Après s'être assuré que la température était devenue stationnaire, on suspendait le tube à essais au milieu d'une cloche où l'on faisait le vide pour que le réchauffement s'effectuât uniquement par rayonnement et fût très lent.

Pendant le réchauffement on mesurait, alternativement et très rapidement, la température et la force électromotrice des couples. Par l'emploi d'un mélange de neige carbonique et d'éther et celui d'une étuve à huile de paraffine, les observations pouvaient être faites de — 200° à + 100°.

Les auteurs, possédant un échantillon de

plomb pur préparé par M. Matthey dans le laboratoire de Stass voulurent rapporter les résultats de leurs expériences à cet échantillon qui leur avait déjà servi dans leurs mesures de résistance. Dans ce but, ils mesurèrent les forces électromotrices d'un couple formé par les deux fils de plomb ordinaires et cet échantillon comme métal intermédiaire. Il devenait alors possible de ramener les valeurs trouvées dans les expériences précédentes à ce quelles auraient été si les fils de plomb eussent été du même plomb que l'échantillon.

Vingt-quatre tableaux et une grande planche donnent les forces électromotrices ainsi corrigées en fonction de la température évaluée dans l'échelle du thermomètre P_1. Ils se rapportent aux métaux ou alliages intermédiaires suivants : platine, or, palladium, argent, cuivre, zinc, cadmium, magnésium, étain, fer, nickel, aciers de diverses provenances, manganine, argent-allemand, platinoïd, bismuth, antimoine ; l'un d'eux est relatif au couple charbon-plomb.

Les auteurs se réservent de revenir, dans une communication ultérieure, sur les conséquences que l'on peut tirer de ces résultats. Ils font toutefois remarquer qu'aucune des courbes n'est exactement une parabole ; beaucoup d'entre elles sont à double courbure et quelques-unes semblent indiquer l'existence de plusieurs points neutres. Ainsi la courbe des forces électromotrices relative à une corde de piano présente des changements de sens de la courbure et celle qui se rapporte à l'antimoine présente deux points pour lesquels la tangente est parallèle à l'axe des températures. Les courbes des divers échantillons de bismuth étudiés présentent une autre particularité : elles offrent une brusque discontinuité vers — 80°, discontinuité que les auteurs ne pensent pas devoir attribuer à des erreurs d'expériences.

J. B.

CHRONIQUE

L'INDUSTRIE ÉLECTRIQUE EN FRANCE

Paris. — Eclairage du collège Chaptal. L'installation de l'éclairage électrique au collège Chaptal, demandée par le conseil d'administration de cet établissement, est soumise au Conseil municipal. La dépense s'élèvera à 40 000 francs.

Paris. — Formation de société. Le rapport du conseil d'administration de la *Société de traction électrique* (système J.-J. Heilmann) annonçait la constitution prochaine de la *Société industrielle de moteurs électriques et à vapeur*, au capital de 4 millions, savoir : 1 million d'actions d'apport à remettre à la Société de traction électrique et 3 millions d'actions à souscrire en espèces.

Chaque actionnaire de la Société de traction électrique vient de recevoir une circulaire rappelant les conditions dans lesquelles se fonde la nouvelle Société. Elle se termine par le passage suivant que nous croyons intéressant de reproduire :

« Nous appelons votre attention sur les conditions particulièrement favorables dans lesquelles se fonde la nouvelle affaire : plusieurs grandes Sociétés industrielles ont bien voulu en effet lui accorder leur patronage et lui prêteront, pour l'exécution de tous les travaux que l'on prévoit, un concours bienveillant, qu'on utilisera dans la plus large mesure. De cette façon, bien des aléas seront évités ; les débuts seront grandement facilités et la marche parfaitement assurée. »

Les premiers administrateurs désignés par les statuts sont :

MM. Jouet-Pastré, président de la Société des forges et chantiers de la Méditerranée ; Maire, président de la Société des anciens Etablissements Cail : A. Girette, administrateur de la Société des fonderies et laminoirs de Biache-Saint-Voass ; le baron de Lassus Saint-Geniès, administrateur de la Société générale ; Lucien Bordet, administrateur de la Compagnie des forges de Châtillon-Commentry, président de la Traction électrique ; J.-J. Heilmann, administrateur délégué de la Traction électrique.

Pour la formation du capital, un droit de préférence à la souscription a été réservé en faveur des actionnaires de la Société de Traction électrique ; mais nous croyons qu'il sera fait aussi appel au public.

Les actions sont de 500 francs, dont 125 francs à verser en souscrivant. Les trois autres quarts seront appelés ensuite suivant les besoins résultant du mouvement des affaires.

Paris. — Eclairage de squares. Un certain nombre d'habitants du quartier Clignancourt ont adressé au Conseil municipal une pétition demandant que le square Saint-Pierre soit éclairé à l'électricité.

D'autre part, le quartier de l'Arsenal demande qu'il soit donné suite au projet dressé par l'administration pour l'éclairage électrique de la place des Vosges.

Alais (Gard). — Eclairage. M. Ducommun, directeur de la Société régionale d'électricité, vient d'accepter la présidence du Conseil d'administration de la Société d'éclairage électrique de la ville d'Alais, à charge par lui de pourvoir à l'installation complète de la ville et de ses habitants. De l'examen du cahier des charges, concédant pour vingt années l'éclairage électrique voté par le Conseil, approuvé par le préfet et enregistré, il résulte que la Compagnie du gaz est déchue de tous droits.

La Compagnie d'électricité s'engage à fournir l'éclairage électrique municipal aux conditions suivantes : le nombre des lampes électriques à installer par la Société sera égal au nombre de becs existant actuellement. Ces lampes devront avoir chacune un pouvoir éclairant égal à 16 bougies anglaises soit 1,73 du pouvoir éclairant de la lampe Carcel, type Dumas et Regnault, avec une tolérance de 5 p. 100. (Article IX.)

L'article X est plus précis encore : Ces lampes devront être installées dans les rues de la ville et dans les bâtiments municipaux subventionnés par la ville ; elles devront occuper *la même place* que les becs de gaz actuels *qu'elles doivent remplacer*, soit 1 242 lampes pour le service seul de la ville.

L'importance considérable de la gare d'Alais, sa grande superficie et l'étendue de ses nombreuses voies de triage ont engagé M. Ducommun, — le traité de la Compagnie du gaz étant sur le point de prendre fin, — à faire à la direction générale des chemins de fer de Lyon des offres qui ont été acceptées en principe et, à la suite de cette démarche, un chef de division, un ingénieur et un inspecteur sont venus à Alais pour étudier le nouveau système d'éclairage qui ne comportera pas moins de 1 500 lampes, soit à arc soit à incandescence.

La Ville paiera annuellement environ 40 000 fr. pour son éclairage public, le prix convenu est de 60 francs par an et par lampe de 10 bougies brûlant toute la nuit et de 75 francs par lampe de 16 bougies dans les mêmes conditions.

Pour les particuliers, les prix annuels pour les lampes de 10 et de 16 bougies brûlant jusqu'à minuit sont respectivement de 50 et de 60 francs. Le prix des lampes allumées toute la nuit est de 65 francs et de 85 francs par an.

L'usine comprendra : 4 chaudières multitubulaires de 120 m² de surface de chauffe ; 3 machines à vapeur Weyher et Richemond de 150 chevaux commandant 2 dynamos de 45 kilowatts. On disposera donc d'une puissance électrique de 270 kilowatts.

La canalisation sera à 5 fils ; un réseau spécial sera affecté à l'éclairage public, pour lequel 2 000 lampes vont être immédiatement installées et tout fait espérer que la gare, une des plus importantes du réseau P.-L.-M., acceptera les propositions qui lui ont été faites.

Bègles (Gironde). — Traction. Le préfet de la Gironde a ouvert une enquête sur l'utilité du projet de tramway électrique soumis au Conseil général, en vertu de l'autorisation donnée par cette assemblée dans la séance du 31 août 1894.

L'enquête a été ouverte à la mairie de Bordeaux et à celle de Bègles ; elle a été close le 26 mars. Le Conseil municipal de Bègles a émis un avis *favorable* à l'unanimité ; le Conseil municipal de Bordeaux émet un avis favorable à la ligne qui va du Pont-de-la-Maye à la tête de ligne des tramways des quais et à la ligne du Pont-de-la-Maye vers la place des Capucins, dans la traversée de Bègles jusqu'au boulevard, mais défavorable à la seconde partie de cette ligne depuis le boulevard jusqu'à la place des Capucins.

Laroquebrou (Cantal). — Eclairage. Pour la modeste somme de 5 000 francs, cette petite ville a été dotée récemment d'une installation d'éclairage électrique, comportant deux turbines de 30 chevaux à axe horizontal actionnant deux dynamos. Il est vrai qu'on se trouvait dans des conditions exceptionnellement favorables, car il a suffi d'installer l'usine dans un ancien moulin ; mais il faut féliciter néanmoins les édiles d'en avoir su profiter.

Montendre (Charente-Inférieure). — Eclairage. Le Conseil municipal vient de voter l'installation de

l'éclairage électrique. Les travaux seront confiés à M. Saboureau, et l'on n'attend, pour les commencer, que l'autorisation préfectorale.

Pierrefite (*Hautes-Pyrénées*). — *Traction.* La Chambre a décidé récemment de mettre à l'ordre du jour la première délibération sur le projet de loi ayant pour but de déclarer d'utilité publique l'établissement, dans le département des Hautes-Pyrénées, des deux chemins de fer d'intérêt local, à voie de 1 m. et à traction électrique, de Pierrefite à la Raillère par Cauterets, et de Pierrefite à Luz-Saint-Sauveur, concédés à M. Verstraët et MM. Lombard, Guérin et Cie, de Lyon. *L'Industrie Électrique* dit qu'il n'y aura probablement aucune discussion et que le projet bénéficiera de l'urgence, car c'est là une amélioration à laquelle pourraient seuls faire de l'opposition les voituriers et les loueurs de chevaux, dont l'activité se porterait sur d'autres points. La ligne de Pierrefite à la Raillère traverse le bourg de Nestalas, et longe ensuite constamment le cours du Gave jusqu'à Cauterets, où elle parvient après un développement de 11 km. et une ascension de 450 m.

La ligne est à voie unique sur tout le parcours ainsi que dans la traversée de la ville. Sur la section de Cauterets à la Raillère, d'une longueur de 1 890 m., la voie est double afin de permettre la circulation d'un grand nombre de trains. La ligne de Pierrefite à Luz-Saint-Sauveur rencontre le Gave de Gavarnie suivant un tracé analogue à celui de la précédente ligne; elle a une longueur de 12 600 m. et s'élève à 240 m. au-dessus de son point de départ.

L'énergie électrique, distribuée aux véhicules tout le long des deux lignes par câble aérien, sera produite dans une usine unique sise à peu près à mi-chemin de la ligne de Pierrefite à la Raillère, au lieu dit Calypso. Une dérivation du Gave débitera 2 m^3 d'eau par seconde dans une chute de 49 m. de hauteur, actionnant des turbines qui commanderont des dynamos, permettant de réaliser une puissance de plus de 740 kilowatts.

Soissons (*Aisne*). — *Traction.* A une dernière séance du Conseil municipal de Soissons, une proposition d'établissement d'un réseau de tramways électriques a été présentée; assez mal accueillie d'abord, elle offre aujourd'hui les plus grandes chances d'être admise. Ce réseau comprendrait deux lignes principales : la première partant de la gare, après avoir parcouru l'avenue de la Gare, la place de la République, la rue Saint-Martin, aboutirait à l'extrémité de la rue du Commerce. La seconde partant de la halte Saint-Christophe se terminerait à Soissons-Vauxrot après avoir desservi l'avenue de la Halte, Saint-Christophe, la rue du Collège, la rue de Saint-Quentin, le Port, le Pont, la rue du Pont, la rue du Plat-d'Étain, la rue des Graviers, la rue Porte-Crouy et la route de Vauxrot. Il est probable que plus tard d'autres tracés viendront se joindre à celui-ci.

Dans l'hypothèse de l'adoption du projet, les concessionnaires s'engagent à faire une ligne provisoire pour desservir le Concours régional l'an prochain. Cette ligne partirait de l'extrémité de la rue de Saint-Quentin, en quittant à ce point la deuxième ligne, et aboutirait au rond-point après avoir parcouru toute la grande allée du Mail. La longueur totale du réseau composant les deux lignes principales sera de 4 kilomètres et demi, environ. Entre les rails la largeur de la voie sera d'un mètre. Quant aux voitures, elles contiendront 40 places dont la moitié à l'intérieur, places assises, et moitié sur les deux plates-formes, places debout. Ces tramways seraient mus électriquement au moyen de fils aériens d'après le système Thomson-Houston. Les voitures seraient éclairées à la lumière électrique. Les concessionnaires demandent à la ville une concession de 30 ans et une garantie d'intérêts de 6 000 francs, au maximum.

Thonon (*Haute-Savoie*). — *Eclairage.* MM. de Mas et Chapuisat proposent à cette ville, l'éclairage électrique à raison de 35 francs par lampe de 25 bougies et par an, alors que le gaz coûte 80 francs par bec pour un éclairage moitié moindre. Le Conseil municipal est obligé par son traité de soumettre ces propositions à la Compagnie locale du gaz.

Toulouse. — *Eclairage.* A l'inauguration de l'éclairage électrique de l'estrade où se donnent les concerts publics, un incident s'est produit. Le public, en attendant les musiciens, admirait l'effet du nouvel éclairage quand tout à coup trois lampes sur cinq et la moitié des lampes municipales s'éteignirent et un ouvrier électricien du-aussitôt grimper le long de la console la plus voit sine soutenant les conducteurs et brancher sur un autre fil les lampes de l'estrade. Cet accident

était dû à un contact survenu sur un point de la canalisation par l'effet d'un fil de fer lancé sur les fils distributeurs.

Ce fait s'étant renouvelé trois ou quatre fois en une semaine, on suppose que la malveillance n'y est pas étrangère.

La téléphonie en Allemagne. — L'*Elektrotechnische Zeitschrift* donne la très instructive statistique de la téléphonie dans l'empire allemand, en octobre 1894.

388 localités possèdent des réseaux téléphoniques, avec un total de 87 181 abonnés et postes et 138694 kilomètres de lignes. Le nombre des conversations établies chaque jour entre abonnés urbains est de 1041 581. Pour les principales villes les chiffres détaillés sont les suivants :

	Abonnés	Lignes km.	Conversations journalières
Berlin. . .	22 069	43 993	223 211
Hambourg.	8 995	11 611	153 903
Leipzig . .	3 290	4 811	95 812
Dresde . .	3 267	5 985	57 689

Pour les relations interurbaines il existe 495 installations avec 42 123 km de lignes transmettant journellement 120976 conversations.

Compteur d'énergie électrique. — On connaît le principe du compteur Aron, faisant agir l'attraction magnétique due au courant pour ralentir les mouvements d'un pendule.

Un récent brevet, au nom de Telge, préconise une solution analogue. Sous l'action d'un solénoïde parcouru par le courant à mesurer, un balancier d'horloge suspendu à un fléau et facile à déplacer, est raccourci par le mouvement du fléau dépendant du courant à mesurer, tandis qu'un balancier suspendu à l'autre bras du fléau et de construction identique, est allongé; la durée d'oscillation des balanciers est ainsi modifiée, de telle sorte que les deux horloges fournissent par l'écart entre les heures qu'elles indiquent, la mesure du courant qui a parcouru le solénoïde.

Fabrication industrielle du carbure de calcium. — Si, comme il a été établi récemment, l'honneur de la découverte du nouveau procédé de production de ce composé revient tout entier à M. Moissan, il n'en est pas moins vrai que les Américains vont nous devancer dans l'application industrielle de ce procédé. On se rappelle que M. Th. Wilson a déjà fondé sous le nom bizarre d'Electro-Gaz Company une compagnie pour la fabrication du carbure. Or, un traité vient d'être passé entre l'Electro-Gaz Company de New-York et la Niagara-Falls-Power Company, qui permettra d'employer immédiatement une puissance de 1 000 chevaux-vapeur pour la nouvelle fabrication et bientôt même 5 000 chevaux-vapeur. Ce qui équivaut à une production journalière d'au moins 100 000 kg. de carbure.

Jet d'eau électrique. — Dans les grands dîners officiels ou de cérémonie, on fait souvent usage de petits jets d'eau placés sur la table des convives. Mais ces appareils, actionnés par un ressort à boudin, ne donnent qu'un jet insignifiant de 30 à 35 centimètres de hauteur et ne fonctionnent que peu de temps.

Le jet d'eau électrique dont nous voulons parler marche aussi longtemps qu'on le désire, et la gerbe s'élève à plus de 1 mètre de hauteur.

Dans le pied de la vasque dans laquelle retombe le jet se trouve un moteur électrique de dimensions très réduites actionnant une minuscule pompe aspirante et foulante. Si l'on possède une installation électrique pour l'éclairage, rien de plus simple que de mettre le petit moteur en communication directe avec le circuit.

Lorsque cette installation fait défaut, on peut se servir d'une pile sèche dont le courant a une puissance suffisante pour mettre en marche le moteur.

Projet de funiculaire au-dessus des chutes du Niagara. — *Engineering* annonce qu'un tramway funiculaire va être établi au-dessus des chutes du Niagara. Les autorisations nécessaires ont été accordées déjà par les autorités canadiennes et sont demandées à New-York.

Deux tours en acier d'environ 6 mètres de hauteur seraient élevées de chaque côté de la chute et des câbles tendus entre ces tours assureraient la circulation de voitures pouvant contenir 20 personnes chacune. On compte que l'installation sera terminée pour l'été.

L'Éditeur-Gérant : GEORGES CARRÉ.

Paris. — Imprimerie L. MARETHEUX, 1, rue Cassette.

Tome IV. **Samedi 3 Août 1895.** **2e Année. — N° 31.**

L'Éclairage Électrique

REVUE HEBDOMADAIRE D'ÉLECTRICITÉ

DIRECTEUR SCIENTIFIQUE : J. BLONDIN

SECRÉTAIRE DE LA RÉDACTION : G. PELLISSIER

LA THÉORIE ÉLECTROMAGNÉTIQUE DE LA LUMIÈRE

ET L'ABSORPTION CRISTALLINE

De récentes expériences ont ramené l'attention sur le problème de l'*absorption cristalline.* Depuis les recherches de M. H. Becquerel(1) « sur les variations des spectres d'absorption dans les cristaux », l'absorption cristalline a fait l'objet de plusieurs travaux importants (2); le mémoire publié il y a quelques mois par M. Camichel (3) a mis définitivement hors de doute quelques points jusque-là contestés. Il ne sera pas sans intérêt d'essayer d'en énoncer les conclusions dans le langage de la théorie électro-magnétique de la lumière.

Précisons d'abord l'objet de la présente étude.

On a proposé diverses théories mécaniques de l'absorption cristalline. Récemment, M. Carvallo (4) a indiqué les principales conclusions d'une étude théorique qu'il se propose de publier, M. G. Moreau (1) a appliqué à l'absorption cristalline les idées auxquelles l'avaient conduit son important travail sur la polarisation (2). Ces diverses théories expliquent l'absorption en faisant intervenir une action réciproque entre les molécules matérielles et les molécules d'éther. Je n'ai pas l'intention d'examiner en détail ces théories mécaniques.

Elles ont un avantage précieux : elles tiennent grand compte de la dispersion. Et si d'autres phénomènes, comme la polarisation rotatoire, peuvent être négligés dans une première théorie, et expliqués simplement ensuite par des « termes complémentaires », puisqu'après tout ce ne sont pas des phénomènes présentés par tous les corps, on n'en peut pas dire autant de la dispersion qui ne peut dans aucun cas être évitée.

Mais d'autre part, de ces théories nombreuses, fondées sur des actions entre l'éther et la matière, aucune ne me paraît arrivée à ce degré de netteté et de simplicité qui en fait une théorie classique ; c'est pour le chercheur une raison de plus de porter sur elles toute son attention. Seulement il y a place à côté d'elles pour une théorie qui est sans doute incomplète, en ce qu'elle néglige provisoirement un phénomène aussi général que la dispersion, mais qui donne des grands phénomènes que présente un cristal étudié en

(1) H. BECQUEREL, *Annales de Chimie et de Physique*, 6e série, t. XIV, p. 170.
(2) Voir POINCARÉ. *Théorie math. de la Lumière*, t. II p. 256.
(3) CAMICHEL. *Etude expérimentale sur l'absorption de la lumière dans les cristaux.* Thèse de doctorat, Paris, 1895. *Séance de la Société française de Physique*, 15 février 1895.
(4) CARVALLO. *C. R. de l'Acad. des Sc.*, 25 février 1895.

(1) MOREAU. *C. R. de l'Acad. des Sc.*, 18 mars 1895.
(2) MOREAU. *Contribution à l'étude de la polarisation rotatoire.* Thèse de doctorat, 1893.

lumière monochromatique, une explication très nette, ou plutôt qui donne pour énoncer et exprimer ces phénomènes un langage très net. La théorie électro-magnétique donne de la biréfringence une interprétation extrêmement simple, et sa place dans l'enseignement de l'optique devient de plus en plus importante (¹). En supposant au milieu cristallin, à la fois diélectrique et susceptible d'aimantation, une certaine conductibilité électrique superposée au pouvoir diélectrique, la théorie électro-magnétique, sans aucune autre hypothèse nouvelle, permet d'établir toutes les lois expérimentales de l'absorption cristalline, elle prévoit certains résultats non encore vérifiés, et permet même de fixer, pour certaines des lois établies par expérience, et définitivement démontrées, leur degré d'exactitude.

Il me semble que cet exposé des lois de l'absorption cristalline dans le langage de la théorie électro-magnétique pourrait, dès maintenant, puisque les lois fondamentales du phénomène ne laissent plus de doute, prendre place dans l'enseignement de l'optique cristalline après l'exposé des lois de la double réfraction. Quel que soit le sort réservé aux essais tentés jusqu'à ce jour pour rattacher à la théorie électro-magnétique l'explication de la dispersion (²), il ne reste pas moins acquis que, réduite à ses grandes lignes, résumée dans des équations où n'intervient aucun terme complémentaire introduit uniquement pour les besoins de la cause, la théorie électro-magnétique rend très bien compte des lois de l'absorption cristalline comme elle rend compte des phénomènes de réflexion et réfraction cristallines.

C'est cette application à l'optique des équations fondamentales qui régissent une perturbation électromagnétique dans un milieu anisotrope imparfaitement isolant, que je me propose de développer ici, en insistant particulièrement sur quelques remarques qui se présentent d'elles-mêmes dans une telle étude.

(¹) J'en citerai pour preuve l'excellent traité de M. Volkmann. Vorlesungen über die Theorie des Lichtes, unter Rücksicht auf die elastiche und die elektromagnetische Anschauung, Liepzig, 1891.

(²) Voir par ex. Helmholtz, *Wied. Ann.* t. XLVIII, p. 389 et 723.

I

Nous prendrons pour point de départ les équations des perturbations électromagnétiques, sous la forme que leur a donnée Heinrich Hertz, dans son mémoire « *Ueber die Grundgleichungen der Elektrodynamik für ruhende Körper* (¹). »

Ces équations, dans un milieu anisotrope à la fois au point de vue diélectrique et au point de vue magnétique, mais parfaitement isolant, seraient :

$$(1)_a \quad \begin{cases} A\left(\mu_{11}\frac{dL}{dt}+\mu_{12}\frac{dM}{dt}+\mu_{13}\frac{dN}{dt}\right)=\frac{dZ}{dy}-\frac{dY}{dz}, \\ A\left(\mu_{12}\frac{dL}{dt}+\mu_{22}\frac{dM}{dt}+\mu_{23}\frac{dN}{dt}\right)=\frac{dX}{dz}-\frac{dZ}{dx}, \\ A\left(\mu_{13}\frac{dL}{dt}+\mu_{23}\frac{dM}{dt}+\mu_{33}\frac{dN}{dt}\right)=\frac{dY}{dx}-\frac{dX}{dy}. \end{cases}$$

$$(1)_b \quad \begin{cases} A\left(\varepsilon_{11}\frac{dX}{dt}+\varepsilon_{12}\frac{dY}{dt}+\varepsilon_{13}\frac{dZ}{dt}\right)=\frac{dM}{dz}-\frac{dN}{dy}, \\ A\left(\varepsilon_{12}\frac{dX}{dt}+\varepsilon_{22}\frac{dY}{dt}+\varepsilon_{23}\frac{dZ}{dt}\right)=\frac{dN}{dx}-\frac{dL}{dz}, \\ A\left(\varepsilon_{13}\frac{dX}{dt}+\varepsilon_{23}\frac{dY}{dt}+\varepsilon_{33}\frac{dZ}{dt}\right)=\frac{dL}{dy}-\frac{dM}{dx}. \end{cases}$$

Le premier système, exprime la loi générale de l'induction, étendue aux courants de déplacement ; le second, la loi générale de l'électromagnétisme étendue aux mêmes courants. L, M, N, sont, comme à l'ordinaire, les composantes de la force magnétique ; X, Y, Z, celles de la force électrique, les ε étant les constantes diélectriques et les μ les perméabilités magnétiques relatives aux diverses directions (à une force électrique X, dirigée suivant l'axe des x correspond un *déplacement* dont les composantes suivant les trois axes sont :

$$\varepsilon_{11}X, \quad \varepsilon_{12}X, \quad \varepsilon_{13}X,$$

et de même pour les autres. A est l'inverse de la vitesse de la lumière dans le vide.

Par un choix convenable des axes coordonnés, on pourrait faire disparaître tous les

(¹) Hertz. *Untersuchen über die Ausbreitung der elektrischen Kraft*, p. 208. — *La Lum. Élec.*, t. XXXVII, p. 137, 188, et 239.

termes en ε_{ij} où i et j sont différents : en prenant pour axes les trois axes principaux de l'ellipsoïde d'induction électrostatique, il ne reste que les trois coefficients ε_{11}, ε_{22}, ε_{33}, qui sont alors les trois *constantes diélectriques principales.*

Mais il y a avantage à ne faire aucune supposition particulière sur le choix des axes, parce que nous pourrions aussi bien prendre pour axes les axes de l'ellipsoïde d'induction magnétique afin de ne garder que les trois μ principaux. Et pour les cristaux des deux derniers systèmes, rien ne nous prouve que ces ellipsoïdes électrique et magnétique coïncident. Dans le système clinorhombique ils auront un axe de symétrie, mais les autres peuvent très bien ne pas coïncider.

Dans ce cas, le plus général, d'un milieu anisotrope au double point de vue électrique et magnétique, où les deux trièdres principaux ne coïncideraient pas, les phénomènes seraient très complexes ; nous n'aurions plus trois plans de symétrie optique [1].

Dans le cas d'une double anisotropie avec trois axes principaux communs, on aurait naturellement trois plans de symétrie optique, mais une surface d'onde dont celle de Fresnel n'est qu'un cas particulier : Hertz a donné l'équation de cette surface [2].

Dans ce cas, qu'il est intéressant de considérer, une perturbation électromagnétique périodique peut encore se propager dans le milieu par ondes planes. Les deux vecteurs périodiques qui représentent la force électrique et la force magnétique ne sont plus dans le plan même de l'onde, *mais ils sont tous deux normaux au rayon ;* le *déplacement électrique* et le *déplacement magnétique*, sont *tous deux dans le plan de l'onde*, ils sont perpendiculaires à la normale d'onde [3].

La réalité est plus simple. Dans les cristaux bien étudiés, l'anisotropie magnétique est très faible, l'anisotropie électrique l'emporte de beaucoup. On a donc une approximation suffisante en regardant μ comme une constante indépendante de la direction. En introduisant cette simplification dans l'équation de l'onde de Hertz, on retombe sur l'onde de Fresnel.

Prenons donc les systèmes d'équations (1), mais où nous supposerons que les axes des ellipsoïdes d'induction électrique et magnétique coïncident. En prenant ces axes pour axes coordonnés, on fait disparaître tous les coefficients ε_{ik} et μ_{ik}, où i et k sont différents. Formons les équations aux dérivées partielles du second ordre auxquelles satisfont d'une part L, M, N, d'autre part X, Y, Z. Ces équations sont :

$$(2)_a \qquad A\mu_{11}\mu_{22}\mu_{33}\varepsilon_{11}\frac{d^2X}{dt^2} = -\mu_{11}\mu_{22}\left(\frac{d^2Y}{dx\,dy}-\frac{d^2X}{dy^2}\right) + \mu_{33}\mu_{11}\left(\frac{d^2X}{dz^2}-\frac{d^2Z}{dx\,dz}\right),$$

et deux équations analogues, et de même :

$$(2)_b \qquad A\varepsilon_{11}\varepsilon_{22}\varepsilon_{33}\mu_{11}\frac{d^2L}{dt^2} = -\varepsilon_{11}\varepsilon_{22}\left(\frac{d^2M}{dx\,dy}-\frac{d^2L}{dy^2}\right) + \varepsilon_{33}\varepsilon_{11}\left(\frac{d^2L}{dz^2}-\frac{d^2N}{dx\,dz}\right).$$

Jusqu'ici tout est symétrique. Mais si nous supposons dans ces équations qu'une des propriétés et une seule est indépendante de la direction, nous arrivons à des équations différentes pour la force électrique, et pour la force magnétique.

Supposons $\mu_{11} = \mu_{22} = \mu_{33} = \mu$.

Les équations $(2)_a$ deviennent :

$$(3)_a \qquad \left|\begin{aligned} A\mu\varepsilon_{11}\frac{d^2X}{dt^2} &= \Delta X - \frac{d\Theta}{dx} \\ A\mu\varepsilon_{22}\frac{d^2Y}{dt^2} &= \Delta Y - \frac{d\Theta}{dy}, \\ A\mu\varepsilon_{33}\frac{d^2Z}{dt^2} &= \Delta Z - \frac{d\Theta}{dz}, \end{aligned}\right.$$

en posant

$$\Theta = \frac{dX}{dx} + \frac{dY}{dy} + \frac{dZ}{dz}.$$

Les équations $(2)_b$ deviennent :

$$(3)_b \qquad \left|\begin{aligned} A\mu\frac{d^2L}{dt^2} &= \frac{1}{\varepsilon_2}\frac{d}{dz}\left(\frac{dL}{dz}-\frac{dN}{dx}\right) - \frac{1}{\varepsilon_3}\frac{d}{dy}\left(\frac{dM}{dx}-\frac{dL}{dy}\right), \\ A\mu\frac{d^2M}{dt^2} &= \frac{1}{\varepsilon_3}\frac{d}{dx}\left(\frac{dM}{dx}-\frac{dL}{dy}\right) - \frac{1}{\varepsilon_1}\frac{d}{dz}\left(\frac{dN}{dy}-\frac{dM}{dz}\right), \\ A\mu\frac{d^2N}{dt^2} &= \frac{1}{\varepsilon_1}\frac{d}{dy}\left(\frac{dN}{dy}-\frac{dM}{dz}\right) - \frac{1}{\varepsilon_2}\frac{d}{dx}\left(\frac{dL}{dz}-\frac{dN}{dx}\right). \end{aligned}\right.$$

---

(1) RAVEAU. *Sur la surface d'onde dans les cristaux*, *C. R.* 11 mai 1891.
(2) HERTZ. *Loc. cit.*,
(3) VOLKMANN. *Theorie des Lichtes*, p. 227.

On reconnaît dans les premières les équations auxquelles satisfont les composantes de l'élongation lumineuse dans la théorie de M. Sarrau ou dans celle de M. Glazebrook; dans les secondes équations, celles que vérifient les composantes de l'élongation dans les théories de Mac Cullagh et de Neumann.

Dans les premières théories, les dérivées de X, Y, Z, par rapport à x, y, z, ne sont pas affectées de coefficients variant avec la direction; on aurait la même expression de l'énergie potentielle que dans le cas des corps isotropes, ce qui varie, ce sont les coefficients des accélérations $\frac{d^2X}{dt^2}$, $\frac{d^2Y}{dt^2}$, $\frac{d^2Z}{dt^2}$, qui sont différents suivant les trois axes.

Lord Rayleigh a montré, il y a longtemps déjà (1), comment on pouvait se représenter cette *densité variable* avec la direction; il serait plus exact de dire cette *inertie* ou cette *résistance au mouvement*, variable avec la direction. Un disque plat, plongé dans un liquide, ne se déplacera pas aussi aisément suivant une normale à son plan qu'en glissant dans son propre plan. Supposez qu'il prenne autour de sa position d'équilibre, un mouvement d'oscillation tangentiel, sous l'influence d'un ressort qui le ramène à sa position primitive, puis, qu'il prenne un mouvement d'oscillation normal à son plan, sous l'influence du même ressort; dans ces deux cas, on n'aura pas, bien évidemment, la même durée d'oscillation. Et pourtant dans les deux cas, l'élasticité du ressort, mise en jeu par la déformation est restée la même : ce qui a varié, c'est l'*inertie relative au déplacement*, la quantité qui entre en numérateur dans le carré de la durée de la période et en dénominateur dans le carré de la vitesse de propagation : cette quantité varie ici avec la direction. On peut donc très bien supposer à un milieu des propriétés élastiques isotropes et des propriétés dynamiques anisotropes. Moyennant cette hypothèse et en supposant nul en outre le coefficient d'élasticité de compression, c'est-à-dire en supposant nulle la résistance à la compression, on arrive pour les composantes du déplacement élastique dans ce milieu aux équations $(3)_a$.

(1) W. Strutt. *On double refraction. Phil. Mag.* 4e série t. XLI p. 519.

Les équations $(3)_b$ sont celles auxquelles conduit l'hypothèse inverse : inertie constante, élasticité variable avec la direction.

Ainsi l'élongation ou *vibration lumineuse* de Mac Cullagh et Neumann répond à la force magnétique; plus exactement, c'est la dérivée par rapport au temps du vecteur de Neumann qui répond à la force magnétique, ainsi que l'a observé M. Raveau. La vibration de Sarrau-Glazebrook (ou sa dérivée par rapport au temps) répond à la force électrique.

Dans la théorie électrique de Fresnel proprement dite, la vibration lumineuse est dans le plan de l'onde. Elle répond au *déplacement électrique* de la théorie électro-magnétique. La théorie de Fresnel repose-t-elle donc sur un principe différent? En aucune façon. Fresnel avait pris pour base de sa théorie de la double réfraction la même hypothèse qu'ont adoptée après lui Mac Cullagh et Neumann : élasticité variable, inertie constante. S'il est arrivé à des conclusions contraires, c'est que l'admirable système qu'il a construit, *considéré comme théorie mécanique proprement dite*, ne présente pas une parfaite rigueur. Il faudrait d'ailleurs être bien ignorant de l'œuvre de Fresnel pour trouver que cette constatation peut diminuer quelque chose à l'admiration qu'on lui doit. A lui seul, il a bâti de toutes pièces un édifice dont il a jeté les fondations et qu'il a élevé jusqu'au couronnement. Si quelques échafaudages manquent de solidité, n'est-ce pas la marque du génie que d'avoir su y appuyer assez légèrement pour que leur fragilité ne compromît pas le monument? Mais il serait d'autre part bien maladroit d'imposer précisément à notre admiration, la solidité de ces échafaudages. Il n'est peut-être pas une idée de Fresnel qui ne soit extrêmement féconde et qui ne jette sur la réalité un aperçu

inattendu : telle son hypothèse sur la perpendicularité de la vibration au plan de polarisation ; telle encore sa conception de la décomposition effective du rayon rectiligne dans le quartz en deux rayons circulaires. Ce qui n'est pas toujours rigoureux dans le détail, ce qui gardait dans son œuvre un caractère provisoire, c'est sa façon de relier l'une à l'autre deux idées dont il avait, séparément, l'intuition.

La « composante efficace » de Fresnel, c'était pour lui le moyen de rattacher un admirable essai de théorie que ses successeurs n'auraient plus qu'à rendre rigoureux, au résultat que son génie devinait. Mais cette « composante efficace » n'est pas une explication ; et en transportant à d'autres questions un pareil mode de raisonnement, on risque fort de commettre des erreurs graves. Nous pensons donc qu'en fait de théories mécaniques rigoureuses de la double réfraction, on doit se borner à comparer et à discuter les deux groupes de théories du type Mac Cullagh-Neumann et du type Sarrau-Glazebrook. Remarquons en passant que la théorie de Fresnel pour la réflexion et la réfraction entre milieux isotropes, part des mêmes principes et se rattache au même ordre d'idées que la théorie de la double réfraction de Sarrau-Glazebrook.

En résumé les équations $(3)_a$ sont les équations de la vibration lumineuse de Sarrau, les équations $(3)_b$ celles de la vibration de Neumann.

Nous rappellerons brièvement ce qu'il faut entendre par *vibration lumineuse*,

Jusqu'à ces derniers temps le mot *vibration lumineuse* avait eu pour tous les physiciens, quelles que fussent leurs théories particulières sur la double réfraction, un sens unique et bien défini. C'était une grandeur telle que *la valeur moyenne du carré de sa dérivée par rapport au temps* fût proportionnelle à l'intensité lumineuse. Si l'on prend cette définition comme point de départ dans un exposé rationnel des phénomènes optiques, on peut démontrer successivement, 1° que la *vibration* ainsi définie est une grandeur qui est fonction périodique du temps (expérience fondamentale des interférences) [1] ; 2° que cette vibration est une grandeur *dirigée* ou *vectorielle*, qu'elle est perpendiculaire au rayon lumineux, au moins dans les corps isotropes (expériences de Fresnel et Arago) ; 3° enfin qu'elle est perpendiculaire à celui des deux plans de symétrie passant par le rayon lumineux polarisé qu'on appelle *plan de polarisation* (expérience de Wiener).

Ce point de départ admis, la théorie de Neumann-Mac Cullagh, telle que l'ont donnée ces deux physiciens, est donc renversée, et il ne resterait ainsi comme théorie mécanique de la double réfraction d'accord avec l'expérience, que les théories du genre Sarrau-Glazebrook.

Seulement, il importe de le remarquer, et M. H. Poincaré, notamment, a très justement insisté sur ce point : rien n'oblige à garder l'hypothèse, après tout arbitraire, qui identifie l'intensité lumineuse avec l'énergie cinétique. On est conduit dans toute théorie élastique à considérer à chaque instant l'énergie potentielle élastique : ajoutée à l'énergie cinétique, elle donne l'énergie totale. Si l'on admettait que c'est l'énergie potentielle moyenne qui représente l'intensité lumineuse, cela reviendrait à prendre du mot *vibration lumineuse* une autre définition : et l'expérience de Wiener nous apprendrait que la vibration lumineuse, ainsi définie, est dans le plan de polarisation. La théorie qui est d'accord avec l'expérience, c'est alors la théorie de Neumann-Mac Cullagh où l'on n'aurait rien changé que le sens du mot *vibration lumineuse*.

Pourquoi ne pas prendre l'*énergie totale* comme représentant l'intensité lumineuse? *Il semble que l'expérience de Wiener ne le permet pas ;* car il suffit de changer le plan de polarisation pour avoir un éclairement uniforme, là ou l'on avait des franges d'inter-

[1] Dans la théorie de Glazebrook il n'y a qu'à généraliser un peu cette définition ; l'énergie cinétique serait la somme des énergies cinétiques relatives aux trois composantes, mais dans ces trois termes figureraient trois densités ou trois coefficients d'inertie différents.

férences, et inversement. Dans chacun des cas, l'un des termes de la somme, énergie potentielle ou cinétique, a une valeur moyenne constante, l'autre présente au contraire des variations : la somme des deux termes présente donc les mêmes variations dans les deux cas, et si c'était d'elle que dépendît l'effet produit, il devrait y avoir des franges dans les deux cas.

Dans la théorie électromagnétique, l'énergie totale est la somme de l'énergie électrique et de l'énergie magnétique

$$W = \frac{1}{8\pi}\left(\varepsilon_{11}X^2 + \varepsilon_{22}Y^2 + \varepsilon_{33}Z^2\right) + \frac{1}{8\pi}\left(\mu_{11}L^2 + \mu_{22}M^2 + \mu_{33}N^2\right).$$

En introduisant soit le potentiel vecteur de Maxwell, dont la force électrique est, au signe près, la dérivée par rapport au temps, soit un vecteur analogue dont la force magnétique est la dérivée, on peut, de deux façons, mettre cette expression de l'énergie sous forme de la somme d'une énergie cinétique et d'une énergie potentielle. Avec le potentiel vecteur de Maxwell, F, G, H, on aurait, en supposant ici $\mu_{11} = \mu_{22} = \mu_{33} = \mu$.

$$W = \frac{1}{8\pi}\left[\varepsilon_{11}\left(\frac{dF}{dt}\right)^2 + \varepsilon_{22}\left(\frac{dG}{dt}\right)^2 + \varepsilon_{33}\left(\frac{dH}{dt}\right)^2\right] + \frac{1}{8\pi\mu}\left[\left(\frac{dG}{dz} - \frac{dH}{dy}\right)^2 + \left(\frac{dH}{dx} - \frac{dF}{dz}\right)^2 + \left(\frac{dF}{dy} - \frac{dG}{dx}\right)^2\right].$$

L'énergie électrique est ici de l'énergie cinétique, l'énergie magnétique de l'énergie potentielle. L'expression de l'énergie totale est identique à celle qu'on obtient dans la théorie Sarrau-Glazebrook.

Dans l'autre hypothèse, on ferait de l'énergie magnétique l'énergie cinétique et de l'énergie électrique l'énergie potentielle. C'est particulièrement dans la théorie électromagnétique qu'au premier abord il pourrait sembler qu'on dût introduire uniquement l'énergie totale. On a toujours deux vecteurs, le vecteur électrique et le vecteur magnétique : ils ne vont pas l'un sans l'autre ; la production de lumière n'est-elle pas l'effet de leur présence simultanée, et l'intensité lumineuse la mesure de l'énergie totale mise en jeu?

Nous répétons ici que l'expérience de Wiener a précisément différencié les rôles des deux vecteurs électrique et magnétique, introduits toujours simultanément dans les systèmes d'équations. Elle a montré qu'il y a interférence quand l'énergie relative à l'un de ces vecteurs est variable, et non pas l'autre. M. Otto Wiener, dans la conclusion de son mémoire célèbre, a mis ces conséquences en évidence avec une admirable netteté.

L'intensité lumineuse, dit-il, est liée à la valeur de l'énergie électrique; là où l'énergie magnétique a une valeur moyenne uniforme, et où, par suite, il y a en même temps variations dans l'énergie électrique, là il y a des franges.

C'est bien l'énergie électrique et non l'énergie magnétique qu'il faut dire. Car la théorie de la double réfraction dont nous nous occupons ici nous apprend que *celui des deux vecteurs qui est perpendiculaire au plan de polarisation est celui qui correspond à la propriété pour laquelle le milieu est anisotrope, le plan de polarisation étant défini,* comme on le définit expérimentalement, *par la section principale pour le rayon ordinaire dans les uniaxes* [1]. Dans la théorie élastique on peut admettre deux définitions de la

[1] On peut démontrer aisément cette propriété : Considérons un plan contenant un rayon extraordinaire AC et l'axe optique AP d'un cristal uniaxe. Ce plan est une *section principale. Par définition,* le rayon extraordinaire AC est polarisé perpendiculairement à cette section principale. Soit CD la trace de l'onde, et CE la normale au rayon menée par le point C. Par le même point C menons une perpendiculaire CH au plan de la figure (elle se projette toute au point C). (Le lecteur rétablira aisément la figure). Dans le langage de la théorie électromagnétique, par exemple, on aurait en général quatre vecteurs, force électrique, force magnétique, déplacement électrique, déplacement magnétique. Pour celle des deux propriétés qui est indépendante de la direction, les deux vecteurs force et déplacement sont confondus; pour l'autre, ils sont distincts. Or, la symétrie exige que dans le rayon extraordinaire, les deux vecteurs d'une espèce soient confondus suivant C, les deux autres sont dirigés suivant CE et CD. *Donc les vecteurs relatifs à la propriété indépendante de la direction sont dans le plan de polarisation.* Pour le rayon ordinaire, normal à l'onde ordinaire, les quatre vecteurs sont confondus deux à deux.

On peut énoncer la conclusion de l'expérience de M. Wiener en disant qu'elle prouve *que l'intensité*

vibration : avec la première définition, par l'énergie cinétique, on trouve que la vibration est perpendiculaire au plan de polarisation si l'on suppose au milieu une anisotropie dynamique; avec la seconde définition, par l'énergie potentielle, on trouverait également que la vibration est perpendiculaire au plan de polarisation si l'on supposait au milieu une anisotropie élastique. Comme ce sont les propriétés électriques qui sont variables avec la direction, c'est le vecteur électrique qui est perpendiculaire au plan de polarisation. Or, l'expérience de Wiener montre que les interférences sont liées à la variation de l'énergie relative au vecteur perpendiculaire au plan de polarisation : donc dans le langage de la théorie électro-magnétique, on doit dire que l'intensité lumineuse est liée à la valeur de l'énergie électrique.

Si j'ai insisté un peu sur ces questions, aujourd'hui bien éclaircies, c'est que l'étude de l'absorption va nous fournir une raison nouvelle d'attribuer un rôle spécial au vecteur électrique, et de l'identifier avec la vibration lumineuse, définie par l'énergie cinétique.

(*A suivre.*) B. BRUNHES.

Professeur à la Faculté des sciences de Dijon.

lumineuse est liée à celle des deux espèces d'énergie qui répond à la propriété physique pour laquelle les milieux biréfringents sont anisotropes.

LE ROLE
DES APPAREILS ENREGISTREURS
DANS L'ÉLECTROTECHNIQUE

Diverses circonstances m'ont amené à m'occuper pratiquement des appareils enregistreurs des frères Richard, de Paris. Je n'ai pas l'intention de parler de l'utilité et des services de tous leurs intéressants appareils : je m'arrêterai seulement aux suivants : le manomètre, qui inscrit automatiquement et d'une manière continue la pression de la vapeur, le cinémomètre qui inscrit les vitesses d'un moteur quelconque; le voltmètre et l'ampèremètre qui inscrivent l'intensité et le potentiel du courant des différentes sources électriques. Il est très probable qu'il y a encore des personnes qui ne sont pas tout à fait convaincues de l'utilité et, je dirai même, de l'importance de ces appareils dans bien des cas et, entre autres, dans toute station bien organisée d'éclairage électrique ou de transport de l'énergie.

J'ai eu l'occasion d'employer ces appareils automatiques dans les trois cas suivants :

1° Dans des essais de moteurs, de dynamos et d'accumulateurs, au moment de leur livraison;

2° Dans divers essais de moteurs, de dynamos, d'accumulateurs, de lampes à arc voltaïque, de charbons de ces lampes, en faisant varier les conditions de fonctionnement de ces machines et de ces appareils;

3° En surveillant la marche journalière de l'éclairage électrique dans une grande usine.

Je commence par les inscriptions et les diagrammes qui donnent les résultats des essais faits dans les deux premiers cas.

La figure 1 indique quatre diagrammes simultanés du manomètre, du cinémomètre, du voltmètre et de l'ampèremètre, qui se rapportent à l'essai d'une machine à vapeur-dynamo de 200 ampères et de 110 volts.

Dans les observations et les inscriptions, l'on avait à chercher si le système satisfaisait à la condition technique suivante : « la machine dynamo fonctionnant sous une charge égale aux 3/4 de sa charge normale le nombre de tours par minute et la tension aux bornes ne doivent pas varier de plus de 3 p. 100 quand la pression de la vapeur tombe de 8 à 6 atmosphères. » Les diagrammes montrent que lors même que la charge est de 7/8, la chute des volts est de 3 sur 110, c'est-à-dire inférieure à 3 p. 100; la chute des vitesses est satisfaisante dans la même mesure.

La figure 2 correspond à la vérification technique suivante : « La pression restant

invariable et la charge variant depuis 1/4 jusqu'à la totalité, les variations des vitesses et des volts aux bornes ne doivent pas dépasser 4 p. 100. » Les diagrammes prouvent que la pression restant à peu près égale à 8 atmosphères et la charge variant entre 50 et 225 ampères (c'est-à-dire de 1/8 supérieure à la charge maxima) la machine en question satisfait à la condition technique voulue.

La figure 3 contient les résultats de la vérification du point technique suivant : « La charge augmentant graduellement depuis 1/4 jusqu'à la totalité, les volts restant sensiblement les mêmes aux bornes de la machine et la pression de la vapeur tombant graduellement de 9 à 7 atmosphères, la chute de la vitesse ne doit pas dépasser 8 p. 100. ». On peut facilement constater que la machine ne

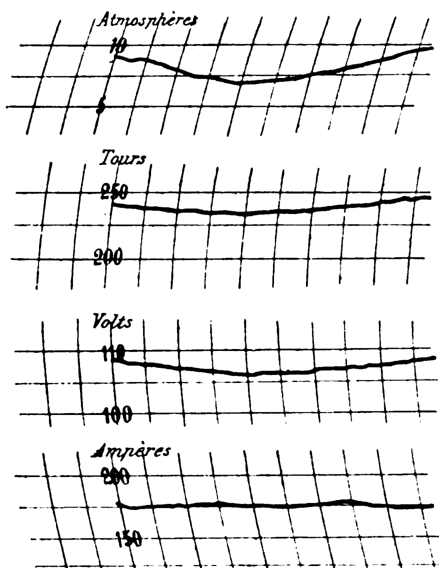


Fig. 1.

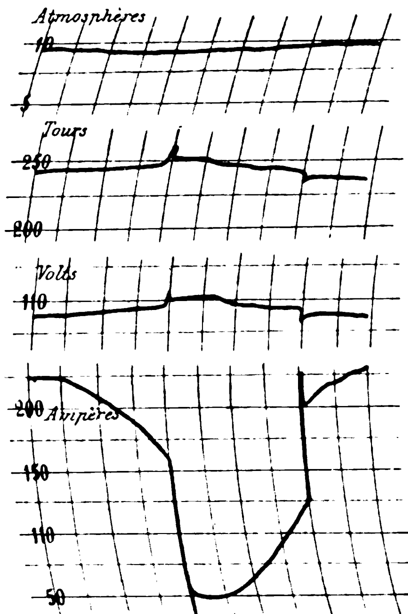


Fig. 2.

Fig. 1. — Diagrammes montrant les variations de vitesse et de tension qui accompagnent une chute de pression, la charge de la dynamo restant constante.

Fig. 2. — Diagrammes montrant les variations de vitesses et de tension qui résultent des variations de charge, la pression de la vapeur restant constante.

satisfait à cette condition qu'approximativement, puisque la diminution de la vitesse dépassait 9 p. 100.

Le diagramme des volts indique des ondulations, qui proviennent des oscillations produites par l'introduction des résistances du rhéostat dans le shunt de la machine, ce qui était nécessaire pour maintenir au même niveau les volts qui avaient une tendance à diminuer avec la diminution de la vitesse de la machine.

La figure 4 donne des inscriptions correspondant à la vérification suivante : « La pression de la vapeur restant à peu près constante et égale à 9 atmosphères et la charge de la dynamo variant brusquement, dans un sens ou dans un autre, entre les limites de 1/4 et de la charge totale, les variations des vitesses et du potentiel aux bornes ne doivent pas dépasser 4 p. 100 ; le régulateur du moteur doit fonctionner avec une rapidité telle, que toute variation brusque de la vitesse ou du potentiel dépassant cette limite ne doit avoir qu'une très courte durée et la vitesse normale doit se rétablir dans un temps qui ne doit pas être supérieur à *5 secondes.* »

En jetant un coup d'œil sur la figure 4 on remarque des petites saillies en *a* et en *b;* elles proviennent tout simplement de l'inertie du levier inscripteur fortement ébranlé.

Les diagrammes des volts et des vitesses satisfont à la condition voulue, mais la question des secondes n'est pas évidemment résolue : on ne pourrait la résoudre qu'au moyen d'un cylindre dont le papier aurait une plus grande vitesse que celle dont j'ai disposé.

La figure 5 donne un essai comparé de deux moteurs à vapeur alimentés par la même chaudière et mettant en mouvement deux dynamos tout à fait pareilles; la pression de la vapeur était maintenue à peu près invariable, tandis que la charge des dynamos subissait des variations brusques et étendues. Des ampèremètres autographiques inscrivaient l'intensité du courant et, comme les résistances ont été choisies de telle manière

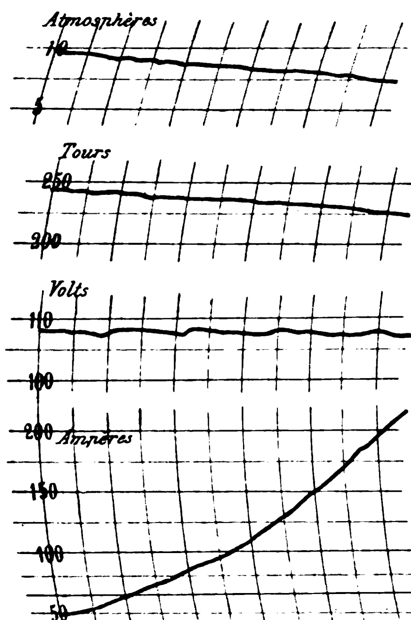


Fig. 3.

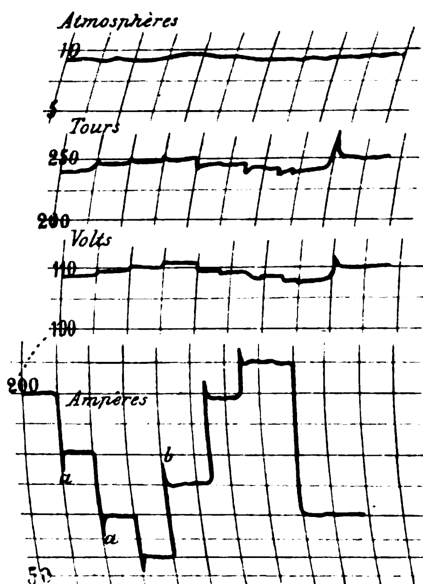


Fig. 4.

Fig. 3. — Diagrammes montrant la variation de vitesse qui résulte d'une augmentation graduelle de la charge et d'une diminution de la pression, la tension restant constante.

Fig. 4. — Diagrammes montrant les variations de vitesse et de tension qui résultent de variations brusques de la charge, la pression restant constante.

que les deux courants soient identiques, nous ne donnons que la courbe fournie par l'une des dynamos. On voit que l'un de ces moteurs (de provenance française) ne subissait qu'une variation de vitesse de 8 p. 100 lorsque la charge variait de 50 à 225 ampères et se réglait très rapidement. L'autre moteur (de provenance anglaise) au contraire, admettait, dans les mêmes conditions, une variation de 18 p. 100, avec des sauts très brusques; son régulateur était inférieur quant à la rapidité de son action.

Quand le second moteur a été refusé, le représentant de la maison anglaise demanda une copie des diagrammes qu'il envoya immédiatement à son usine. Cette dernière répondit bientôt qu'elle reconnaissait parfaitement la force probante des diagrammes et promit d'introduire chez elle la méthode de vérification au moyen des diagrammes, d'améliorer son système de régulateurs et d'envoyer à ses clients les copies des diagrammes obtenus dans les essais, suivant un programme déterminé, des machines demandées. Si le

consommateur est satisfait des diagrammes qu'il a devant les yeux, il peut vérifier chez lui leur exactitude mais il n'a pas le droit

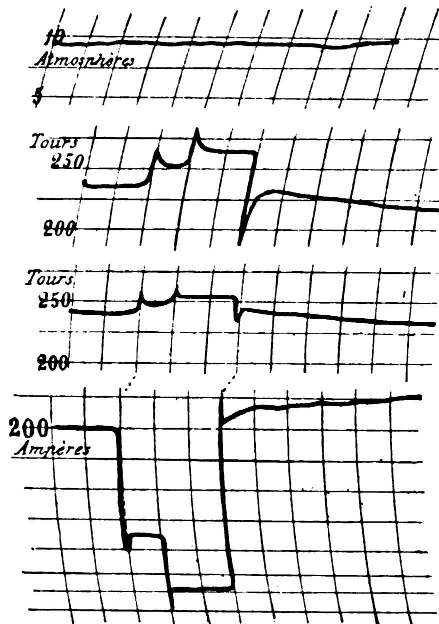


Fig. 5. — Diagrammes montrant les variations de vitesse de deux moteurs qui accompagnent des variations brusques de la charge des dynamos qu'ils entrainent.

d'exiger des qualités dépassant celles qu'indiquent les diagrammes approuvés : de cette manière, l'usine, sachant parfaitement quels diagrammes sa machine est en état de fournir, ne risque plus de voir ses livraisons refusées.

La figure 6 donne trois diagrammes : la pression de la vapeur, les volts et les ampères aux bornes de la dynamo, obtenus dans les essais d'un appareil mobile d'éclairage électrique, destiné à l'armée. Il s'agissait d'essayer le générateur de la machine à vapeur et de voir

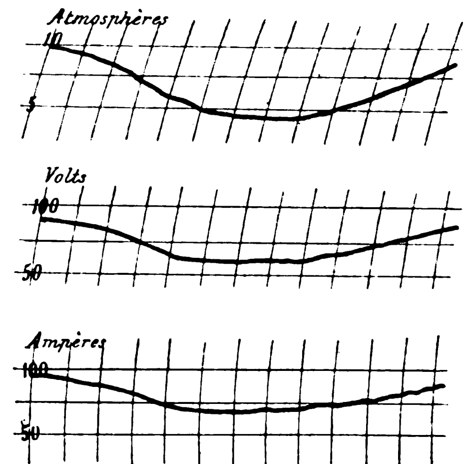


Fig. 6. — Diagrammes de la pression de la vapeur, des volts et des ampères dans un essai de dynamo.

s'il était possible, la pression étant tombée à 4 atmosphères, de la faire monter à 10 atmosphères sans aucune interruption de la marche et de l'éclairage, la charge électrique extérieure étant la plus grande possible. Les graphiques donnent tous les éléments nécessaires pour résoudre les questions posées.

La figure 7 indique la marche de l'intensité du courant pendant la charge d'une série d'ac-

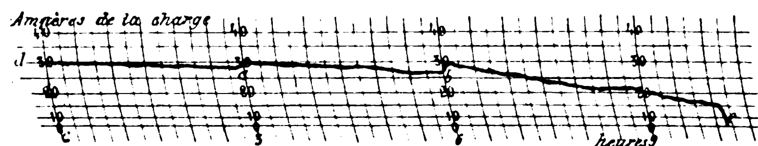


Fig. 7. — Variation de l'intensité du courant pendant la charge d'une batterie d'accumulateurs.

cumulateurs ; les élévations des ampères en *a* et en *b* sont dues aux éliminations des résistances rhéostatiques au fur et à mesure de l'affaiblissement du courant pendant la charge des accumulateurs. En mesurant l'aire de *cdec* on obtient le nombre d'ampères-heures emmagasinés dans les accumulateurs.

La figure 8 représente la décharge de la même batterie d'accumulateurs ; en mesurant l'aire *abcda*, nous aurons le nombre d'ampères-heures restitués par la batterie. Ces diagrammes n'exigent aucune explication ultérieure.

La figure 9 donne le résultat de 4 décharges

après 4 charges successives du même accumulateur qui est resté longtemps inactif. L'accumulateur était toujours déchargé à la même intensité du courant et manifestait chaque fois une plus grande capacité électrique, ce qui était sans doute dû à la transformation de la couche de sulfate de plomb qui s'était formée sur les plaques.

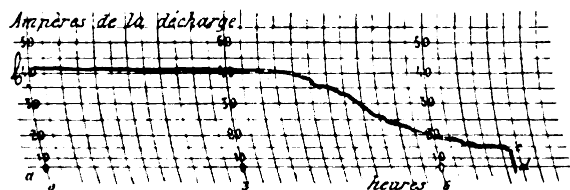


Fig. 8. — Diagramme de décharge d'une batterie d'accumulateurs.

La différence est surtout sensible entre les décharges II et III, tandis qu'elle est déjà petite entre celles de III et IV, ce qui prouve qu'une transformation ultérieure de l'accumulateur serait d'une très petite utilité.

Les figures 10 et 11 représentent l'essai d'un moteur à pétrole qui alimentait une dynamo destinée à fournir un courant constant de 80 ampères à un potentiel invariable. La figure 10 montre que le moteur est sujet à des irrégularités dans la fréquence des explosions du pétrole, et que ces irrégularités ont une forte influence sur les ampères.

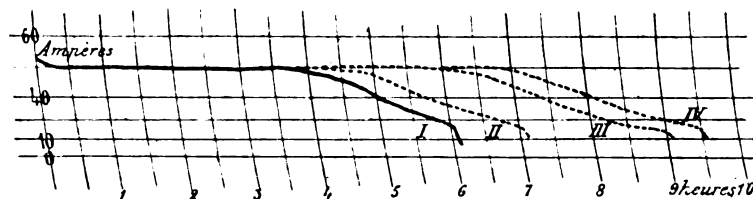


Fig. 9. — Diagramme montrant l'augmentation de capacité d'une batterie d'accumulateurs.

Le mécanicien ayant réglé l'arrivée du pétrole et de l'air, on obtint la partie gauche du diagramme 11 ; mais le travail du moteur était au-dessous de la moyenne voulue ; alors, en augmentant l'accès de l'air, la quantité dépensée de pétrole restant invariable, on arriva à obtenir la ligne *ab*, correspondant au travail électrique demandé, sans aucune variation de la fréquence des explosions ; la ligne obtenue est épaisse à cause de l'augmentation de la

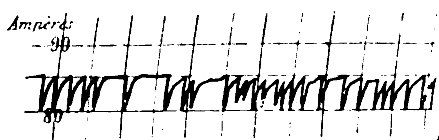


Fig. 10.

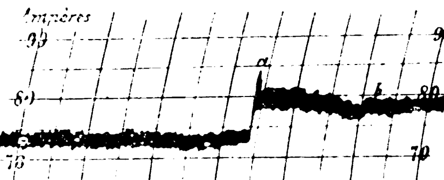


Fig. 11.

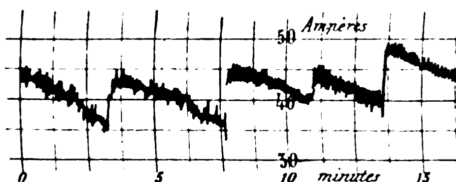


Fig. 12.

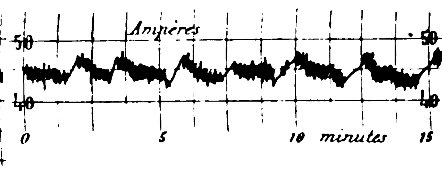


Fig. 13.

Fig. 10 et 11. — Diagrammes d'essais d'une dynamo mise en mouuement par un moteur à pétrole.
Fig. 12 et 12. — Diagrammes de l'intensité du courant dans une lampe à arc, avant et après son réglage.

vitesse de rotation et de l'intensité du courant au moment même de chaque explosion.

L'usine continue maintenant à régler par cette méthode ses moteurs à pétrole destinés à alimenter des lampes à arc voltaïque d'un nombre d'ampères déterminé.

La figure 12 se rapporte à des essais sur une lampe à arc. Cette figure donne une idée exacte de la fréquence des rapprochements des charbons et des variations du courant (de 33 à 50 ampères) qui les accompagnent. Il est clair que les rapprochements sont trop espacés et se produisent trop brusquement. La figure 13 donne le diagramme des ampères de la même lampe après une régularisation soignée de son mécanisme.

Les diagrammes 14-17 représentent les résultats des essais des différents échantillons des charbons dans une lampe à arc voltaïque de 90 ampères ; ces échantillons ont été fournis par trois usines différentes. Les figures 15 et 17 se rapportent aux mêmes charbons essayés avec des moteurs différents ; ces charbons sont évidemment les meilleurs par la régularité de leur combustion ; ceux de la figure 14 sont les plus mauvais. Ces diagrammes servent de modèles de comparaison au moment de la livraison des charbons en gros.

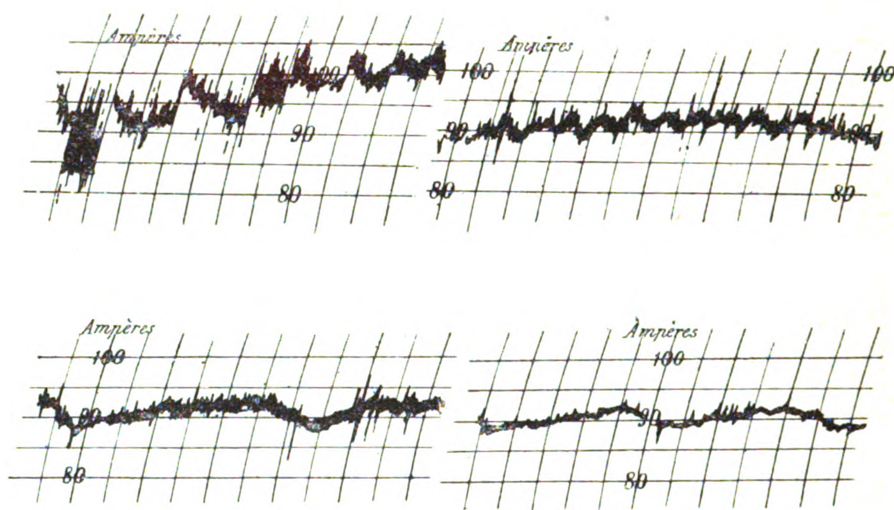


Fig. 14, 15, 16 et 17. — Diagrammes des ampères avec des charbons de diverses provenances.

Les diagrammes 18 à 21 représentent les volts dans les essais des charbons provenant des différentes usines, essais faits dans les conditions suivantes : l'intensité du courant était de 12 ampères ; la différence de potentiel aux bornes du circuit, dans lequel est intercalée une seule lampe, était de 110 volts, dont la plus grande partie était absorbée par le rhéostat ; l'arc était maintenu à dessein à une longueur supérieure à sa longueur normale, pour obtenir des inscriptions plus nettes ; la dynamo était mise en mouvement par un moteur à marche uniforme et alimentait en même temps un grand nombre des lampes à incandescence, avec un courant de 200 ampères environ. Toutes les perturbations devaient donc appartenir aux charbons. Les diagrammes prouvent ceci : la lumière est d'autant plus égale, que les charbons contiennent *moins de cendres* ; les charbons de la figure 18 dépassent considérablement par l'égalité de leur lumière les autres échantillons ; les charbons de chaque usine, en donnant leurs diagrammes, signent pour ainsi dire eux-mêmes la note de leurs qualités ; leur écriture fait recon-

naître leur provenance. Les copies de ces diagrammes furent communiquées aux usines respectives qui reconnurent sans appel l'exactitude des résultats ainsi obtenus ; une de ces

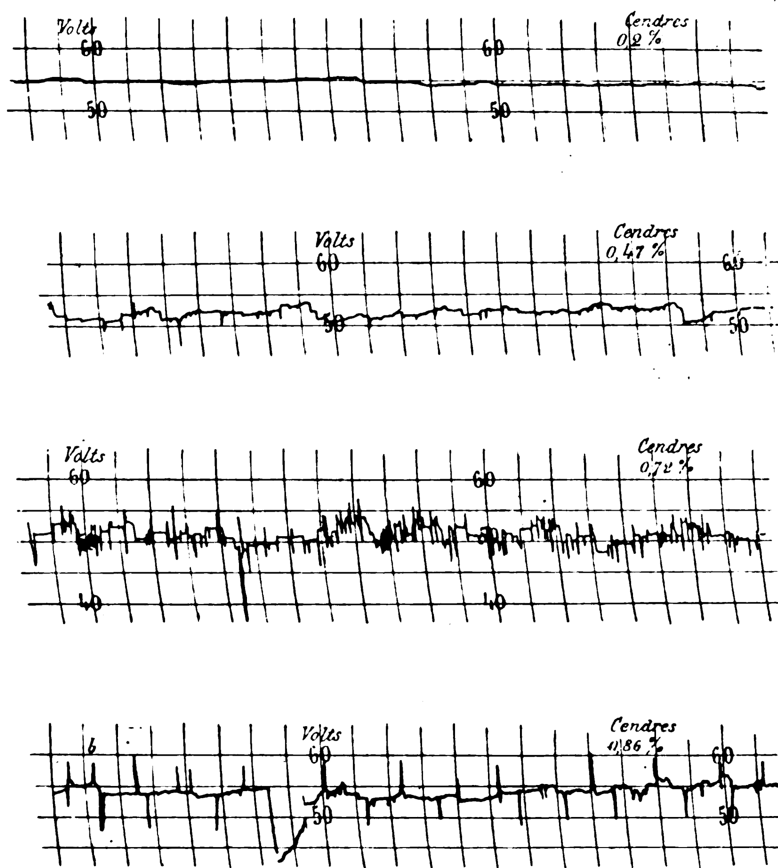


Fig. 18, 19, 20 et 21. — Diagrammes des volts avec des charbons de diverses provenances.

usines (fig. 20) déclara qu'elle mettrait à l'essai une pâte plus pure et qu'elle communiquerait ses diagrammes. Il n'y a pas longtemps, j'ai reçu en effet, un diagramme très proche de celui de la figure 18 et que je trouve imprimé dans les prix courants de cette usine.

(*A suivre.*) W. TCKIKOLEFF.

LA QUESTION DE L'HYSTÉRÉSIS DIÉLECTRIQUE

La dissipation d'énergie dans les diélectriques soumis à des actions électriques variables, depuis fort longtemps constatée, n'est étudiée d'une façon plus approfondie que depuis quelques années. Le phénomène par lui-même est intéressant, mais on trouvera surtout dans les méthodes d'examen dont se sont servis les différents auteurs des côtés fort curieux.

Les diélectriques de la pratique étant généralement constitués par des mélanges hétérogènes, et Maxwell ayant donné une théorie générale des diélectriques ainsi constitués, la simple logique devait indiquer qu'une première explication de la transformation d'éner-

gie était à chercher dans cette théorie. Ce n'est pas ainsi qu'ont procédé la plupart des expérimentateurs.

Le premier qui, à notre connaissance, ait mesuré la perte d'énergie dans un condensateur pratique soumis à des charges alternatives, est M. Steinmetz [1]. Or, partant d'une analogie entrevue avec le phénomène de l'hystérésis magnétique, M. Steinmetz n'hésita pas à attribuer la perte d'énergie constatée à un phénomène de même genre; c'est lui qui créa la question si controversée de l'*hystérésis diélectrique*.

Dans notre travail sur les diélectriques hétérogènes [2] nous avons combattu cette façon d'envisager la question, et jusqu'à tout récemment, nous avons été, avec M. Ch. Borel, les seuls à nier l'existence de l'hystérésis diélectrique. De nouveaux faits viennent aujourd'hui corroborer ces vues, mais avant de les indiquer, il ne nous semble pas inutile de résumer l'historique du sujet.

M. R. Arno, par une méthode indirecte (mesure du couple exercé sur un cylindre diélectrique suspendu dans un champ électrostatique tournant), mesura l'énergie dissipée [3] et crut à une assimilation complète avec l'hystérésis magnétique.

Dans un deuxième travail [4], qu'il nous opposa, cet auteur trouva pour la soi-disant hystérésis diélectrique une loi semblable à celle de Steinmetz ($W = H F^{1,6}$, W étant la perte d'énergie, F l'intensité de champ électrostatique, et H une constante), alors que M. Steinmetz lui-même avait trouvé proportionnalité entre la perte d'énergie et le carré de l'intensité de champ électrostatique.

Depuis, M. Ewing et miss Klaassen ont constaté que l'exposant 1,6 de la loi de Steinmetz n'est applicable qu'entre certaines limites de l'induction magnétique, et que cet exposant varie de 1,475 à 1,9 entre d'autres limites. Or, récemment M. Arno a publié de nouveaux résultats [1] dans lesquels, chose remarquable, l'exposant de sa loi pour les diélectriques varie également et entre les valeurs 1,65 à 1,9; l'auteur conclut donc au maintien de l'analogie avec le phénomène magnétique.

M. P. Janet, dans une note [2] sur des expériences avec les oscillations électriques, dit que la contradiction constatée entre la théorie et l'expérience « serait due à l'existence de phénomènes analogues à ceux de l'hystérésis magnétique, qui font que, à différence de potentiel égale, la charge est plus petite pour les différences de potentiel croissantes que pour les décroissantes ».

Dans un autre travail sur les oscillations électriques [3], M. Janet décrit des expériences faites pour réaliser les cycles des charges en fonction des différences de potentiel. Les résultats obtenus ne lui permettent pas de trancher la question de savoir s'il y a hystérésis ou viscosité, ou les deux phénomènes à la fois.

Enfin, nous citerons également M. E. Brylinski, qui, au cours d'une étude expérimentale [4] faite dans le but de vérifier les conclusions de notre travail, observe que la différence entre la loi de la charge et celle de la décharge d'un condensateur « paraît un puissant argument en faveur de l'hystérésis diélectrique, dont M. Hess n'admet pas l'existence ».

Comme on le voit, les auteurs cités ne parlent que de l'hystérésis ou de la viscosité; aucun d'eux n'invoque la théorie des conductions intérieures. Pour ne laisser subsister aucune ambiguïté, nous allons caractériser encore une fois les trois points de vue différents auxquels on s'est placé.

(1) *El. Engineer*, New-York, 16 mars 1892. *La Lum. El.* 9 avril 1892.
(2) *La Lum. Electrique*, t. XLVI, p. 401 et 507, 26 nov. et 10 déc. 1892.
(3) *Rendiconti d. R. Acc. dei Lincei*, 16 octobre 1892. *La Lumière Electrique*, t. XLVI, p. 537.
(4) *Rendiconti d. R. Acc. dei Lincei*, 30 avril 1893, *La Lumière Electrique*, t, XLIX, p. 92.

(1) *Eclairage El.* 26 *janvier* 1895.
(2) *Comptes rendus*, 26 décembre 1892.
(3) *C. R.* 20 février 1892.
(4) *La Lum. El.* 1er avril 1893.

L'hystérésis d'un effet par rapport à une cause se manifeste par ce fait qu'une même cause peut avoir deux effets différents selon le *sens* dans lequel elle agit; mais les deux effets sont toujours de même grandeur pour une cause de même grandeur, et quelle que soit (à la vitesse de propagation près) la rapidité d'action de la cause.

Ainsi, dans le cas de l'aimantation du fer, une même valeur $\mathcal{H}$ de l'intensité de champ peut produire deux valeurs différentes $\mathcal{B}$ ou $\mathcal{B}'$ de l'induction magnétique, selon que cette valeur particulière de $\mathcal{H}$ est obtenue par une augmentation ou une diminution de l'intensité de champs. Mais les valeurs $\mathcal{B}$ et $\mathcal{B}'$ sont toujours les mêmes, que $\mathcal{H}$ ait varié rapidement ou lentement.

La *viscosité*, au contraire, permet à une même cause de produire une foule d'effets différents, selon sa durée ou la *rapidité* avec laquelle elle agit.

Prenons, par exemple, une masse de fer, et faisons agir brusquement dans cette masse un champ d'intensité $\mathcal{H}$. Si le fer n'est pas visqueux, il s'y établira instantanément une induction $\mathcal{B}$, dont la valeur est déterminée par la grandeur des effets d'hystérésis. Si, au contraire, ce fer présente de la viscosité, l'établissement de l'induction prendra un certain temps, mais sa valeur finale sera encore celle déterminée par les propriétés hystérétiques. Enfin, en établissant le champ graduellement, l'induction aura le temps de suivre pas à pas les intensités successives du champ, la viscosité s'opposant d'autant moins à ses variations que celles-ci sont plus lentes.

Avec un champ alternatif, on conçoit que l'induction restera toujours d'autant plus éloignée de la valeur qui correspondrait au maximum d'intensité du champ à l'état permanent, que les alternances seront plus rapides. Il y a toutefois, une limite au delà de laquelle cet effet de la viscosité s'amoindrit à mesure que la fréquence croît. Mais en tout cas, ce qu'il faut retenir, c'est l'effet de la viscosité est variable avec la fréquence, tandis que celui de l'hystérésis en est indépendant.

Dans le cas de l'hystérésis il y a donc une *différence* d'effets d'une même cause (non un retard temporaire, mais un décalage) ; dans le cas de la viscosité, l'effet produit est en *retard* sur la cause, et atteint d'autant plus difficilement sa pleine valeur que la cause varie plus rapidement.

Ces deux phénomènes, qui dans le magnétisme par exemple sont simultanés, se différencient dans la réalité par ce fait que la viscosité n'est bien apparente que pour des vitesses de variations très grandes tandis que l'hystérésis se manifeste avec une égale importance même avec les variations cycliques les plus lentes.

A priori il est admissible que ces deux genres de phénomènes puissent se produire dans les diélectriques, mais il y avait une troisième explication plausible. Dans notre communication à la Société de Physique(¹) nous faisions remarquer que le retard entre différences de potentiel et charges pouvait être déduit directement du fait de l'hétérogénéité des diélectriques.

C'est ce point de vue que nous défendons.

Dans un article sur ce sujet (²) nous disions : « Le phénomène de retard que j'ai signalé est le corollaire nécessaire de la formation du résidu, si fréquemment observée. Le résidu est lui-même une conséquence de ce fait que le quotient de la charge par la différence de potentiel, quotient que l'on peut appeler la capacité *apparente*, varie pendant la charge. Enfin, les lois générales qui régissent ces divers éléments sont implicitement contenues dans la théorie des diélectriques hétérogènes de Maxwell ».

Dès l'abord, en nous appuyant sur les faits suivants, nous ne pouvions admettre l'hystérésis diélectrique :

Dans ses expériences sur la conductibilité

(¹) Séance du 16 décembre 1892. Voir aussi *Journal de Physique*, avril 1893.

(²) *La Lum. El.* 11 mars 1893.

des cristaux, M. J. Curie a montré (1) que les charges sont proportionnelles aux différences de potentiel quand on passe *lentement* d'une force électromotrice à une autre.

D'autre part, on sait que les substances pures ne conservent pas de résidu; mais, ainsi que l'a constaté M. Muroska (2), il suffit en général de mélanger ou simplement de superposer deux diélectriques pour rendre possible la formation du résidu.

Cette dernière observation tend même à exclure la viscosité. Comment, en effet, supposer que deux diélectriques sans viscosité, donneraient une fois superposés, un ensemble présentant de la viscosité ?

Il ne reste donc que la conception de la dissipation d'énergie dans les particules conductrices du diélectrique hétérogène. Nous avons eu la satisfaction de voir cette opinion confirmée par M. Charles Borel qui avait étudié cette question, en observant un disque diélectrique mobile dans un champ électrique alternatif. En rendant compte de ces expériences (3), faites dans le courant de l'hiver 1892-1893. M. Borel s'exprime ainsi :

« Je n'avais point alors connaissance des travaux de M. A. Hess, avec lesquels mes observations semblent être parfaitement d'accord. » « Récemment M. Ricardo Arno a observé la rotation de cylindres diélectriques dans un champ électrostatique tournant; il attribue cette rotation à une hystérésis diélectrique analogue à l'hystérésis magnétique. Les résultats de mes expériences ne me permettent pas la même conclusion. La rotation de disques diélectriques, telle que je l'ai observée dans un champ électrique alternatif me paraît être due à des phénomènes de conduction extérieure ou intérieure. J'ai remarqué que l'hétérogénéité du diélectrique joue un rôle important dans ce phénomène; ce sont les diélectriques hétérogènes qui produisent les plus fortes actions sur le disque. »

(1) Thèse de doctorat, 5 juin 1888.
(2) *La Lumière Électrique*, t. XXXVII, p. 295.
(3) *Comptes Rendus*, 23 mai 1893.

En présentant notre travail à la Société des électriciens (1), M. Géraldy faisait remarquer que, si la perte d'énergie, sous l'influence d'un champ alternatif était due à l'hystérésis diélectrique, cette perte serait indépendante de la fréquence, et qu'il en serait autrement si elle était le résultat des conductions intérieures. L'expérience, conclut M. Géraldy, tranchera la question.

Cette expérience décisive, que nous n'avons pu effectuer faute d'appareils suffisants, vient

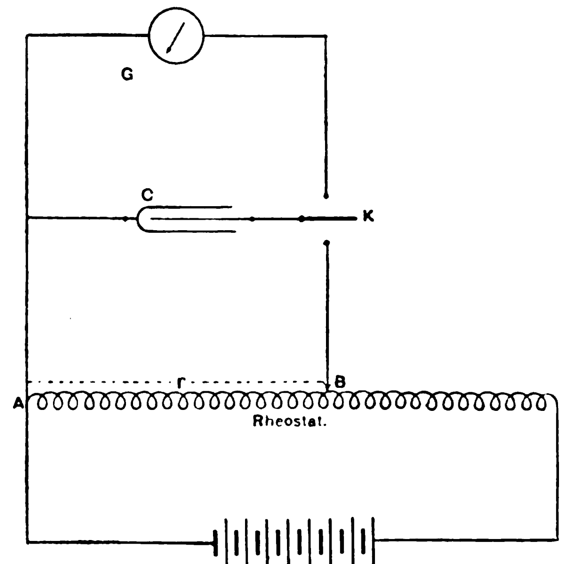


Fig. 1.

d'être faite de deux côtés différents, et les résultats obtenus viennent complètement appuyer nos vues.

Pour constater l'existence ou la non-existence d'une hystérésis diélectrique, il s'agissait d'examiner si un cycle, lentement parcouru, de différences de potentiel aux armatures d'un condensateur, fournissait un cycle de charges embrassant une certaine surface.

MM. A.-W. Porter et D.-K. Morris (2) ont fait cette expérience, dont ils ont communiqué les résultats à la Société Royale de Londres.

Une batterie de 11 volts (fig. 1) débitait sur

(1) Séance du 1er février 1893.
(2) *The Electrician*, 12 avril 1895.

un rhéostat de 850 ohms. Le condensateur C, en papier paraffiné, d'une capacité de 5 microfarads, était relié d'une part, à l'aide d'une clef K, soit à un point intermédiaire B du rhéostat, soit à un galvanomètre balistique G. En déplaçant le point B, on faisait varier la différence de potentiel agissant sur le condensateur.

Les cycles ont été décrits de la manière indiquée par la figure 2, montrant l'aspect qu'aurait la courbe dans le cas où l'hystérésis jouerait un rôle.

En commençant en R avec une différence

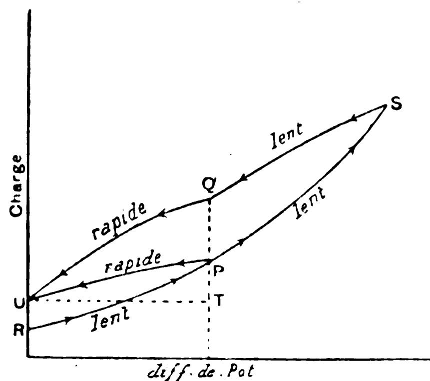


Fig. 2.

de potentiel nulle, on augmente celle-ci graduellement jusqu'à atteindre le point P ; là on décharge le condensateur; pendant cette décharge instantanée, la courbe suit la branche PU, et le galvanomètre indique la perte de charge PT, qui comprend toute la quantité d'électricité écoulée pendant la durée d'oscillation (2,5 secondes) du galvanomètre. Celui-ci restant en contact avec le condensateur, la charge continue à s'écouler et l'on revient au point R. On met alors le condensateur en court-circuit en ramenant le contact B au point A du rhéostat. Puis on recommence à augmenter graduellement la différence de potentiel, mais en allant jusqu'à une valeur S supérieure à la précédente, et enfin, on revient ensuite lentement à la première valeur, ce qui donne lieu à la formation de la branche SQ de la courbe. La décharge du condensateur dans le galvanomètre fait alors revenir la courbe au point U et mesure la perte de charge QT.

Si la dissipation d'énergie dans le condensateur est due à l'hystérésis, la courbe cyclique embrassera une certaine surface, et le point Q ne coïncidera pas avec le point P. Si, au contraire, l'expérience n'indique pas la différence de charge entre Q et P, il ne peut y avoir d'hystérésis, et la courbe prend alors l'aspect de la figure 3.

C'est ce dernier cas qui s'est produit. La durée de parcours d'un cycle était de 5 minutes. Dans deux séries d'expériences, les auteurs ont trouvé pour le rapport de la charge

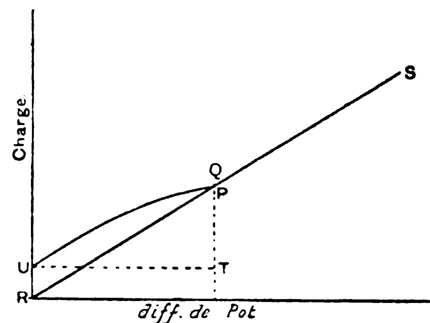


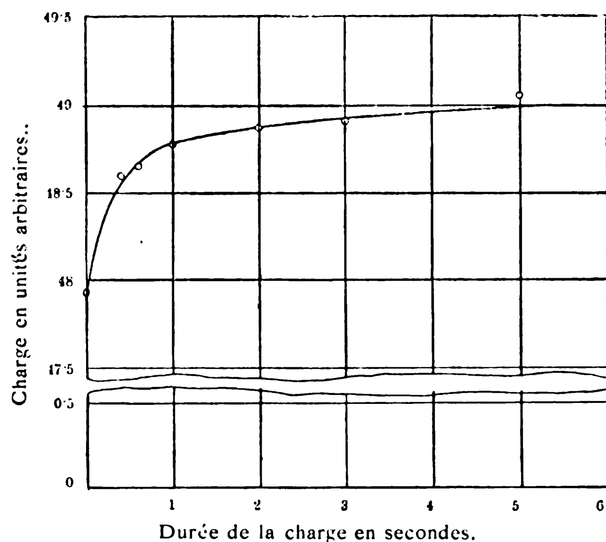
Fig. 3.

en Q à la charge en P, $1 + \frac{1}{8760}$ et $1 - \frac{1}{10350}$. Ces chiffres sont si voisins de l'unité que l'on peut conclure que dans le cas considéré il ne s'est pas manifesté d'hystérésis.

Et il faut remarquer que le condensateur en question est loin d'être exempt de ce que les auteurs appellent les effets visqueux. Pour en donner une idée ils ont construit (fig. 4) la courbe des charges acquises par le condensateur avec des durées variables de mise en relation avec une force électromotrice donnée. La constante de temps calculée d'après la capacité du condensateur et la résistance du circuit de charge est inférieure à $\frac{1}{20\,000}$ de seconde ; en sept fois ce temps, la charge aurait donc acquis les 9/10 de sa valeur finale, si le circuit extérieur seul avait été le siège d'une dissipation d'énergie.

D'autre part, M. H. Eisler [1] a étudié expérimentalement l'influence de la fréquence de la différence de potentiel alternative sur la perte d'énergie dans le condensateur. Ces mesures ont été faites à l'électromètre sur un condensateur de 2,5 microfarads. Voici les chiffres :

Fréquence pér. par sec.	Perte par cycle en ergs.	Résistance apparente en ohms.
17,9	10 490	64 800
29,3	11 670	35 100
33,9	11 420	31 500
41,7	11 790	24 900
45,1	12 250	22 100



Durée de la charge en secondes.

Fig. 4.

La résistance apparente indiquée est la résistance qui, avec la même différence de potentiel, donnerait la même perte. La résistance réelle du condensateur était de 289 mégohms, et ne pouvait donc donner lieu à une dissipation d'énergie appréciable. On voit que même dans ces limites assez étroites la perte par cycle augmente avec la fréquence.

MM. Porter et Morris, après avoir écarté, par leur expérience, l'hystérésis diélectrique expliquent les phénomènes résiduels par la viscosité. C'est encore à la viscosité qu'a recours M. Eisler pour expliquer la variation du cycle avec la fréquence; ni l'un, ni les autres songent aux conductions intérieures.

Et pourtant, il est facile de montrer que cette théorie fournit les résultats trouvés expérimentalement. Considérons, comme nous l'avons toujours fait, un condensateur de capacité C et de résistance infinie relié en série avec un condensateur de capacité C′ et de résistance intérieure ρ (représentant les particules conductrices du mélange), et faisons agir sur cet ensemble, dans un circuit de résistance R, une force électromotrice alternative $E = E_0 \sin 2\pi n t$, de fréquence n. L'énergie dissipée par cycle dans un pareil système est exprimée par

$$W = \frac{n}{A^2 n^2 + (B - D n^2)^2} KE^2,$$

expression dans laquelle les constantes ont pour valeurs :

$$K = 2\frac{\pi^2}{\rho}$$

$$A = \left(1 + \frac{R}{\rho} + \frac{C'}{C}\right)2\pi$$

$$B = \frac{1}{C\rho}$$

$$D = RC'.$$

La loi de variation de W avec la fréquence n est analogue à celle trouvée par M. Eisler. Comme il le prévoit, on trouve un maximum de dépense d'énergie pour une certaine fréquence, et il n'est pas nécessaire d'admettre la viscosité pour expliquer l'effet en question.

D'ailleurs, si viscosité il y a, il est probable qu'avec les fréquences habituelles, elle ne saurait être décelée, et en ayant recours aux oscillations électriques, comme l'a fait M. Janet, on se trouverait à ce point de vue dans de bien meilleures conditions d'expérimentation.

Pour nous, la question paraît aujourd'hui bien près d'être définitivement élucidée. L'hystérésis diélectrique est une hypothèse qui ne s'est pas vérifiée. L'existence d'une viscosité est elle-même non démontrée, quoiqu'elle ait pour elle des probabilités. Mais la perte d'énergie dans les diélectriques telle qu'on l'a observée est certainement due au simple fait

[1] *Zeitschr. f. Electrotechnik*, 15 juin 1895.
Notons en passant que M. Eisler a aussi constaté que la perte est proportionnelle au carré de la force électromotrice (contrairement aux résultats de M. Arno).

de l'hétérogénéité du diélectrique; un diélectrique homogène n'y donne pas lieu.

Pour trancher la question de la viscosité, il s'agit donc d'expérimenter avec des cycles extrêmement rapides sur des diélectriques très purs, expérience délicate s'il en fut.

A. HESS.

LES DYNAMOS

La machine qu'a fait breveter *M. Gravier*, en 1893, est destinée, dans l'esprit de son inventeur, à se prêter sans échauffement à de grandes variations de charge et à présenter, par suite, comme moteur, une grande marge de puissance, la désignant particulièrement

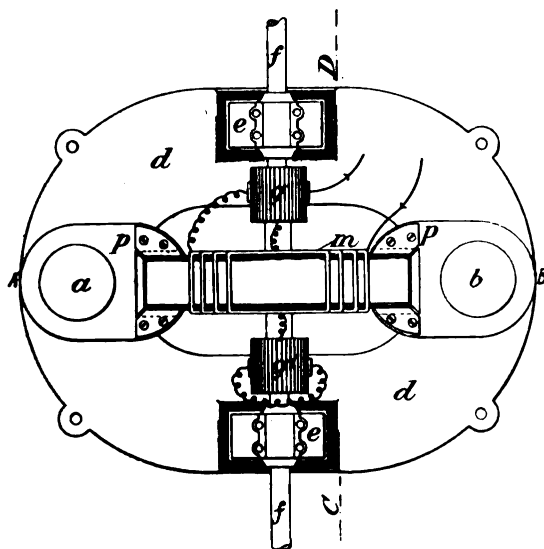


Fig. 1. — Machine bipolaire Gravier. Vue en plan.

pour l'adaptation aux tramways dans lesquels le couple moteur est si variable.

Le procédé employé à cet effet est très simple; il consiste à diviser l'induit en sections indépendantes très étroites, reliées chacune à deux touches de collecteur et soumises individuellement et successivement à l'action inductrice de pièces polaires également très étroites n'agissant à la fois que sur une seule section. Dans ces conditions, deux sections travaillent seules simultanément, et toutes les autres, inactives, ont le temps de se refroidir. Ces différentes sections peuvent d'ailleurs être groupées à volonté suivant le résultat cherché.

Cette disposition revient, comme on le voit,

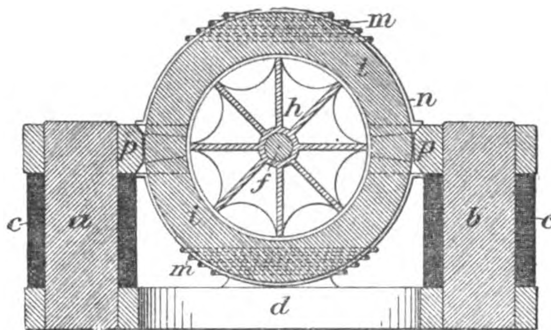


Fig. 2. — Coupe suivant AB.

à la réunion en une seule de plusieurs machines fractionnaires fonctionnant et se reposant successivement.

Les figures ci-jointes qui donnent (1) le plan d'une machine bipolaire de ce genre, (2) une coupe verticale suivant AB, (3) une autre coupe verticale suivant CD, (4) une éléva-

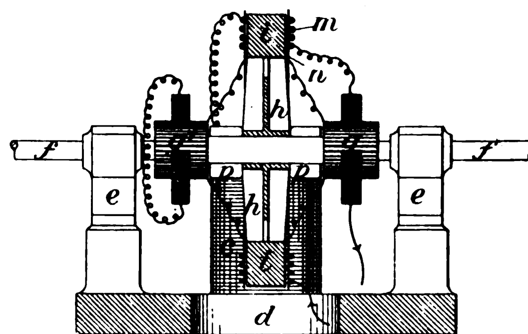


Fig. 3. — Coupe suivant C D.

tion en bout, (5) une élévation latérale, nous dispensent de toute autre description. L'induit est en anneau plat; les pièces polaires l'embrassent sur trois côtés sous une très faible largeur angulaire. Le commutateur est doublé, l'un servant à l'entrée, l'autre à la sortie des fils de l'induit.

Un enroulement spécial *m*, extérieur à

l'induit proprement dit, dont il est séparé par une carcasse *n* en matière isolante, est destiné à contrebalancer les réactions d'induit en déterminant dans le noyau de ce dernier un flux de force inverse équivalent à celui qui produit cette réaction.

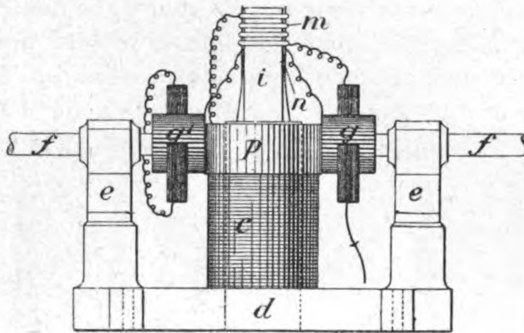


Fig. 4. — Élévation en bout.

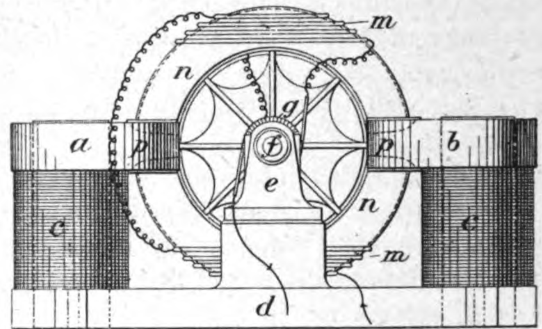


Fig. 5. — Élévation latérale.

Sous le nom de perfectionnements aux alternateurs et moteurs alternatifs synchrones (1893), *MM. Ravenshaw* et *Atkinson* ont breveté une nouvelle disposition de l'alternateur Atkinson de 1889, basé sur la variation du flux dans des bobines sous l'action d'un fer mobile de polarité variable.

Leurs machines à jeu unique ou double de bobines induites sont représentées dans les figures 6, 7 et 8.

La partie L N est seule mobile sur l'axe M ; le reste est fixe. L L sont des bras en fer nu parallèles à l'axe et munis de pièces polaires ; montés en porte-à-faux, ils peuvent être protégés contre l'effort centrifuge par une bague Q reliant leurs bouts libres. A est le noyau central en fer portant les bobines magnétisantes C et foré en B de manière à permettre le passage des bouts des fils de ces bobines. Dans la machine fig. 6 et 7, l'extrémité intérieure de ce noyau est rabattue en un flasque H qui constitue un des pôles du champ magné-

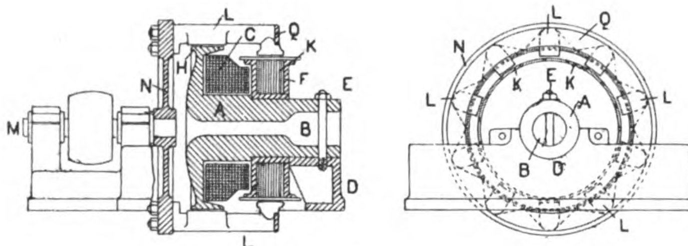


Fig. 6 et 7. — Section longitudinale et élévation en bout de l'alternateur Ravenshaw et Atkinson à une seule série de bobines d'armature.

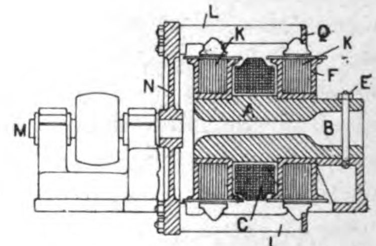


Fig. 8. — Coupe longitudinale d'un alternateur à deux séries de bobines.

tique primaire, tandis que l'autre pôle est représenté par l'anneau ou flasque F qui supporte l'induit K. Dans la figure 8 on voit deux flasques semblables F F de polarités différentes montés de part et d'autre de l'induit C. Tous ces flasques F sont faits en fer lamellé.

Les bobines K de l'induit plat, en fil ou ruban de cuivre isolé, sont montées sur la périphérie des flasques FF, avec leurs axes magnétiques dirigés radialement.

Les pièces polaires des bras L passent aussi près que possible des flasques H et F, sans les toucher. La largeur de chacune des pièces polaires passant devant les bobines induites est un peu inférieure à celle de chacune de ces bobines K, et l'intervalle qui les sépare est légè-

rement supérieur à la largeur de chaque bobine induite, le nombre de ces bobines étant un multiple de celui des bras polaires L. Là où ces bras tournent autour du flasque nu H, qui n'a pas besoin d'être lamellé, il est préférable qu'ils soient, comme on l'a vu, reliés en un cercle à peu près continu.

Les bras polaires, la bobine magnétisante et les bobines induites sont mobiles à volonté par enlèvement des boulons E, G, etc., ce qui permet leur visite et leur remplacement en cas de besoin.

La question des porte-balais n'est pas une des moins importantes dans l'étude et la construction des dynamos. Parmi les nombreuses améliorations introduites dans la pratique de ces machines par *M. Crompton,* un brevet de 1893 vise précisément ce délicat accessoire et a pour objet l'établissement à meilleur compte de ces porte-balais pour dynamos et alternateurs, et leur simplification, sans préjudice de leur réglage comme pression et de leur application sur le collecteur ou de leur soulèvement en marche. Les figures 9 à 11 ci-

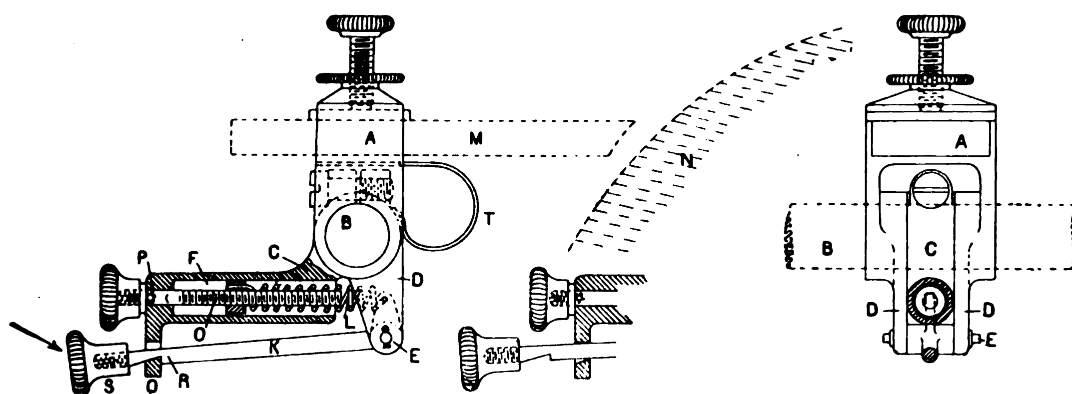


Fig. 9, 10 et 11. — Porte-balais Crompton.

jointes rendront plus facile l'intelligence de leur construction et de leur fonctionnement.

La gaine des balais et la manière dont ces derniers y sont assujettis n'offre rien de particulier. Cette gaine est, comme d'ordinaire, mobile autour de l'axe B; mais elle porte à sa partie inférieure deux pièces saillantes D D dans lesquelles est fixé un axe E sur lequel s'articule un levier coudé K.

La partie fixe du porte-balais comporte un collier C solidaire de l'axe des porte-balais, d'où part un tube F dit boîte à ressort et renfermant le ressort spiral L qui assure la pression du balai M sur le collecteur. L'une des extrémités de ce ressort est reliée au petit bras en retour d'équerre du levier K, et l'autre, à un écrou traversé par la vis O. L'avancement ou le recul de cet écrou permet de régler la tension du ressort. Une broche P qui s'engage dans une rainure à l'extrémité de la boîte F empêche d'ailleurs l'écrou de se desserrer sous une action étrangère quelconque. Cette même extrémité de F se termine en dessous par une équerre à œil dans laquelle est engagé le bout libre de K portant une encoche R. Grâce à la tension du ressort L, la branche K du levier est toujours soumise à une certaine pression sous l'action de laquelle l'encoche R, convenablement abaissée, est toujours arrêtée en Q. La position du collier C sur l'axe B est d'ailleurs telle que l'embecquetage de R et de Q écarte le balai M du commutateur N.

En soulevant K, on dégage R et la tension du ressort L fait porter le balai sur le commutateur, tandis que R prend la nouvelle position indiqué par la figure 10. L'éloignement des balais s'effectue naturellement par le mouvement inverse.

Un seul ressort réalise ainsi, comme on le voit, le double jeu du porte-balais. Les divers

boutons sont, en outre, comme d'habitude, garnis au besoin de matière isolante, de même qu'une connexion flexible T renforce la voie offerte au passage du courant, en cas de grande intensité.

On sait que des alternateurs de même fréquence et de tension électrique égale marchent synchroniquement en parallèle. Pour les relier ainsi, on les connecte habituellement quand le synchronisme paraît établi d'après les indications d'une lampe témoin qui indique la concordance de phases. Cette manière de procéder n'est pas sans danger, étant donné qu'elle est subordonnée à l'habileté et à la rapidité de manœuvre de l'opérateur.

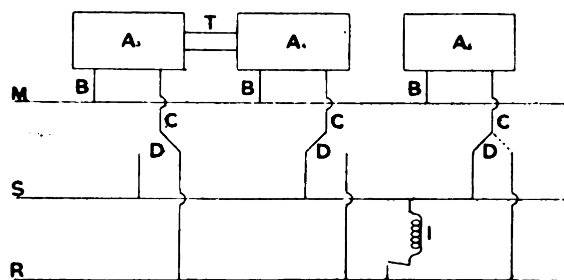


Fig. 12.

C'est en vue d'éviter ces incertitudes dangereuses que *M. Kingdon* a fait breveter, en 1894, le mode suivant de synchronisation. Il emploie, à cet effet, des alternateurs couplés mécaniquement par paires, sans exclure pour cela les autres alternateurs indépendants qui peuvent exister dans la station considérée. Les alternateurs ont même fréquence, même phase et même tension, mais peuvent être de puissances différentes. Il a, en outre, recours à une barre conductrice spéciale avec laquelle chaque alternateur peut être relié et qu'il nomme « barre de synchronisation ».

Voici comment il opère : — Soient (fig. 12) quatre alternateurs A_1, A_2, A_3, A_4 ; M et R les deux conducteurs principaux ; S la barre de synchronisation ; B les câbles de liaison avec M. C ceux qui aboutissent à R, chacun d'eux étant d'ailleurs muni d'un interrupteur D; et T les arbres ou autres liaisons mécaniques réunissant les alternateurs par paires, de sorte que A_1 et A_2 tournent à la même vitesse et ont même phase et même fréquence et qu'il en est de même de A_3 et de A_4. Les interrupteurs occupant les positions indiquées, et A_1 étant relié aux conducteurs M et R, on veut synchroniser, par exemple, A_4 et A_1. On commence par faire tourner A_3 et A_4 jusqu'à ce qu'ils aient sensiblement la même fréquence que A_1 et A_2 ce que révèle un indicateur de vitesse ou autre appareil. On relie alors A_2 et A_3 à la barre de synchronisation et on excite progressivement leurs inducteurs, de sorte qu'ils se synchronisent peu à peu et arrivent à coïncider en phase. A_1 étant dès lors synchronisé avec A_2 qui marche aussi synchroniquement avec A_3

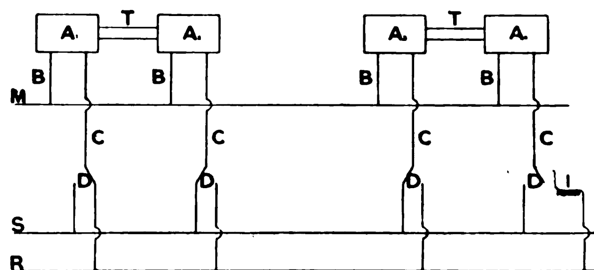


Fig. 13.

relié lui-même à A_4, il en résulte que A_4 tourne synchroniquement avec A_1 ; et, son champ magnétique étant suffisamment excité, on relie A_4 à R et à M, et les deux alternateurs fonctionnent parallèlement. Il est cependant préférable, au lieu de relier directement A_4 aux conducteurs principaux, d'employer une bobine de réaction I, dont on réduit progressivement l'impédance, soit en en retirant graduellement un noyau de fer, soit par un autre procédé. Après avoir opéré la jonction avec les câbles sur l'impédance maxima, on la réduit ainsi peu à peu, et finalement l'alternateur se trouve directement en connexion avec les conducteurs.

On évite ainsi de brusques oscillations de tension, et des efforts non moins brusques sur les induits ou les isolants des alternateurs, avec toutes leurs conséquences.

On peut alors supprimer les connexions de

A_2 et A_3 avec la barre de synchronisation S et les établir avec le conducteur principal R.

On retire de même du circuit l'un quelconque des alternateurs par l'entremise de la bobine de réaction.

On peut, également, synchroniser avec A_4, par exemple, un cinquième alternateur indépendant A_5, (fig. 13), en le synchronisant d'abord avec A_4, puis reliant, comme on l'a vu, A_4 et A_5 aux conducteurs principaux. La méthode est ainsi générale.

E. BOISTEL.

REVUE

DE LA PRESSE INDUSTRIELLE

ET DES INVENTIONS

Transmissions par courants triphasés en Amérique.

Les applications des courants polyphasés se multiplient rapidement, aux Etats-Unis. Nous en avons cité déjà plusieurs; voici quelques nouveaux exemples, empruntés à l'*Electrical Review*, de New-York.

La Tides Water Oil Company voulait faire installer dans ses raffineries de pétrole de Bayonne (N.-J.), une transmission de force. En raison des dangers qui pouvaient résulter de la moindre étincelle dans une atmosphère imprégnée de gaz explosibles et par raison d'économie, les courants triphasés furent adoptés.

Le générateur, à 8 pôles, a une puissance de 75 kilowatts, à 550 volts. Les moteurs ont des puissances respectives de 5, 10 et 15 chevaux. Des précautions particulières sont prises pour éviter les étincelles; les moteurs ont une résistance permanente dans le circuit de l'armature; ils sont employés à la manœuvre de pompes, d'ascenseurs, de monte-charges et autres machines. Les commutateurs, d'une construction spéciale, ont leurs lames plongées dans l'huile. La même génératrice allumera aussi 525 lampes à incandescence réparties dans les différentes parties de l'usine. Le réglage des circuits à lumière sera effectué par des appareils tournants particuliers, nouvellement inventés.

La Oakland Gas and Electric Company, de Oakland (Cal.), fait installer actuellement une transmission par courants triphasés pour la mise en marche des moteurs branchés sur son réseau; la puissance de ces moteurs varie de 1 à 15 chevaux. La puissance du générateur est de 75 kilowatts, à 2 000 volts; la tension sera réduite en deux centres de distribution au potentiel convenable; le réseau secondaire s'étend à 360 m. autour de chacun de ces sous-centres. Des fils pilotes partent de ces points et aboutissent à la station centrale, afin de permettre le réglage absolu du potentiel de distribution.

A Falls River, dans le Massachusetts, le système monocyclique sera employé. Deux générateurs de 75 kilowatts serviront à l'éclairage pendant la nuit et à la distribution de l'énergie pendant la journée; les moteurs branchés ont des puissances variant de 1 à 10 chevaux; ils sont construits pour marcher à 110 volts; la tension de transmission est de 2 000 volts; elle sera ramenée à 110 volts au moyen de transformateurs réducteurs.

G. P.

Les chemins de fer vicinaux de la Belgique (1)

Bien que sur la plupart de ces lignes d'intérêt local, la traction se fasse par la vapeur, nous croyons intéressant d'enregistrer les renseignements suivants que nous trouvons dans le journal de la Société des arts de Londres.

Il y a dix ans qu'un décret royal confia à la Société nationale des chemins de fer vicinaux, le soin de doter la Belgique d'un réseau de chemin de fer d'intérêt local, absolument indépendant des lignes à largeur normale qui sont, en ce pays, plus nombreuses que partout ail-

(1) *Journal of the Society of Arts.* — 21 juin 1895, p. 720.

leurs, eu égard à la superficie totale du pays. La Société nationale a pour mission de recevoir les projets des communes ou des particuliers intéressés à la construction de ces lignes; quand elle a étudié le projet présenté, qu'elle s'est assuré de son utilité, de ses chances de gain, et qu'elle a réuni les capitaux nécessaires à l'exécution, elle adresse une pétition au gouvernement afin d'obtenir la concession.

La première ligne vicinale entre Anvers et Hoogstraeten, fut inaugurée le 15 août 1885; le développement de ces chemins de fer légers a été si rapide qu'à la fin de l'année dernière il n'y avait pas moins de 68 lignes vicinales concédées, ayant un développement total de 1 342 kilomètres.

A la fin de 1893, cette longueur totale n'atteignait que 1 237 kilomètres. Les 105 kilomètres de nouvelles voies comprennent six nouvelles lignes, dont la plus longue, celle de Lens, Enghein et Soignies, a plus de 30 kilomètres. Une partie de ces lignes (68 1/2 kilomètres) n'est pas encore livrée à l'exploitation. 820 kilomètres sont construits sur des routes non élargies, 93 sur des routes dont la largeur a été augmentée dans ce but; enfin 266 kilomètres ont été construits sur des terrains privés; le surplus, ou 177 kilomètres, représente des embranchements de service ou des garages. Pendant l'année 1894, 13 nouveaux embranchements ont été construits, portant à 106 le nombre total d'embranchements, sur lesquels 26 ne servent qu'aux usages agricoles, tels que le transport des moissons ou des engrais, 69 aux usages industriels pour le bénéfice des usines, des carrières, etc.

Sur la longueur totale, 1056 kilomètres sont à l'écartement de 1 mètre, 239 kilomètres à l'écartement normal des chemins de fer vicinaux hollandais (1 067 m.) et 45 1/2 kilomètres à l'écartement normal.

Sur 62 lignes ouvertes au trafic, 60 sont exploitées par locomotive à vapeur, une, de courte longueur par la traction animale, et une autre enfin, celle de Bruxelles à la Petite-Épinette, par la traction électrique, avec conducteur aérien.

Il n'y a pas moins de 84 demandes de concessions pour 1 424 kilomètres de voies nouvelles; 5 autres lignes d'intérêt local concédées à des Sociétés autres que la Société nationale, ont une longueur totale de 57 1/2 kilomètres. Il y a donc actuellement 1 399 kilomètres de chemin de fer locaux; si les autres lignes sont concédées, la longueur totale sera portée à 2833 kilomètres; la longueur totale des chemins de fer d'intérêt général est de 4 507 kilomètres.

L'année dernière sur 61 lignes exploitant 1 159 kilomètres, avec un parcours total de 4 615 912 kilomètres, les recettes ont atteint 5 343 389 fr., et les dépenses 3 770 682 fr.; le bénéfice est donc de 1 572 707 fr., qui donne une proportion des dépenses aux recettes de 70,57 p. 100. Tandis que, en 1893, 4 lignes étaient en déficit, à la fin de 1894, 2 lignes seulement se trouvaient dans ce cas, et encore, la perte avait-elle diminué.

Tandis que le nombre total de kilomètres parcourus a augmenté de 5 157 530 kilomètres en 1893 à 5 802 131, en 1894, le nombre d'accidents mortels s'est accru de 25 à 34 et celui des blessés de 13 à 15; dans presque tous les cas, les accidents ont été causés par l'ivresse ou l'imprudence.

La Société étudie la substitution de la traction électrique à la traction à vapeur sur différentes lignes; la ligne de Bruxelles (place Rauppe) à Petite-Espinette (Uccle) a été inaugurée le 1er octobre dernier; depuis cette époque l'exploitation s'est faite très régulièrement, les départs ayant lieu toutes les quinze minutes. L'installation a été faite par l'Union Electricitäts Gesellschaft, de Berlin, qui a un traité pour dix ans et qui entreprend l'entretien, les réparations, etc., et assume la responsabilité entière. La ligne a 10 kilomètres de longueur; partout où il est nécessaire, les fils à trôlet et les feeders sont munis de fils de garde afin d'éviter que les fils des téléphones ou des télégraphes puissent venir en contact avec eux. Des paratoudres sont placés sur la ligne, sur les voitures et à la station centrale. Les voitures sont munies de freins ordinaires,

à main; en cas d'accident, cependant, le courant peut être renversé dans les moteurs, afin d'obtenir un arrêt presque instantané. Si le frein se brisait et si le courant venait à manquer, les moteurs montés en court circuit l'un sur l'autre suffiraient à arrêter la voiture rapidement, ou à limiter sa vitesse, en pente, suivant le procédé bien connu.

Chaque voiture est éclairée par cinq lampes à incandescence, de seize bougies, et chauffée par des radiateurs électriques; elle peut contenir trente-cinq personnes. Chaque voiture motrice est munie de deux moteurs de vingt chevaux et peut remorquer une voiture sans moteurs contenant le même nombre de personne.

Les rampes atteignent 4,5 et 6,2 p. 100. La vitesse atteint 25 kilomètres à l'heure.

G. P.

Système polycyclique de Steinmetz.

Son système dit « monocyclique » à peine éclos, M. Steinmetz vient d'en imaginer un autre qu'il appelle « polycyclique » et dont l'objet est d'éviter le défaut d'équilibre du système quand on alimente à la fois des moteurs et des lampes par les mêmes circuits.

Le diagramme de la figure 1 indique le principe qui lui sert de base. Les inducteurs F d'un générateur principal G sont alimentés par le courant continu d'une excitatrice E. Son induit, à enroulement triphasé, est formé de trois bobines en triangle. On voit un circuit d'éclairage L relié aux conducteurs principaux *ac* par l'entremise d'un transformateur réducteur de tension T. Les bornes d'induit d'un moteur triphasé, de construction analogue à celle du générateur, sont reliées aux conducteurs *abc*.

La nouveauté de ce système, tel qu'il est ainsi décrit, réside en ce que les lampes ou autres appareils récepteurs à courants alternatifs simples qui exigent un potentiel constant sont massés sur une seule branche du système, et que le transport d'énergie mécanique s'effectue entre cette branche et les autres à travers une des bobines du moteur. Si l'on suppose, par exemple, que, dans une installation donnée, la charge en lampes soit le tiers de celle du moteur, les bobines *d* du moteur et du générateur ou la résistance et la self-induction des conducteurs qui les relient seront ordinairement telles que, à charge normale, il ne passera par le fait aucun courant d'énergie mécanique par la bobine *d* du moteur entre les conducteurs principaux *ac*. Les lampes constituent alors la charge normale sur cette branche et reçoivent les courants ordinaires, tandis que les moteurs reçoivent des courants de puissance mécanique diphasés entre les

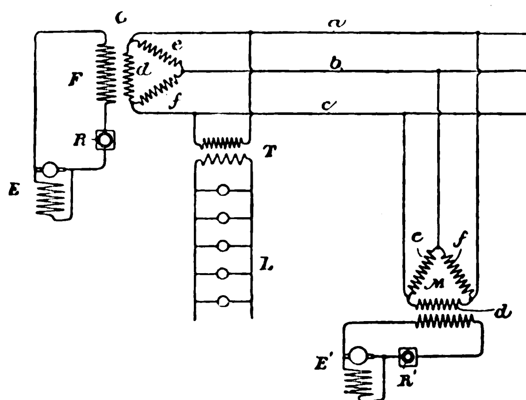


Fig. 1.

autres branches du système *bc* et *ab*. Il y aura alors en réalité équilibre entre la force contre-électromotrice créée dans le circuit de la bobine *d* du moteur et la force électromotrice dans le circuit d'éclairage. Toutes les fois que cette relation sera modifiée, comme, par exemple, par un changement dans la charge en lampes ou une variation dans la tension du circuit d'éclairage, l'équilibre sera rétabli par un courant circulant dans la bobine *d* du moteur et pouvant, suivant les exigences, venir en aide aux lampes ou aux moteurs. Les bobines *e* et *f* du moteur ont moins de spires que les bobines correspondantes du générateur, de manière à recevoir normalement des courants de puissance mécanique.

La figure 2 représente un générateur G' tétraphasé dont le système inducteur est alimenté, comme dans la figure 1, par une

excitatrice E à courant continu. Les bobines *rs* de son induit sont montées à 90° l'une de l'autre dans son champ magnétique et reliées de la manière indiquée aux conducteurs principaux *abc*; le conducteur *b* sert de retour commun aux deux branches du système. Le circuit d'éclairage L est relié aux conducteurs *b* et *c*, et les bobines des moteurs ou autres appareils de transport d'énergie tels que transformateurs rotatifs et contrôleurs de phase sont en connexion avec les différentes branches du système. Comme on le voit en M,

Fig. 2.

qui représente un moteur synchrone, une bobine principale r' est reliée à la branche *ab* du système de distribution, et une bobine supplémentaire s', aux conducteurs d'éclairage *bc*. L'inducteur du moteur est en circuit avec une machine E' à courant continu. Ce moteur fonctionne à la façon d'un moteur monocyclique. Dans les conditions ordinaires il empruntera la partie principale de son courant de fonctionnement uniquement à la branche de puissance mécanique du système, tandis que le courant d'alimentation des lampes sera emprunté aux conducteurs d'éclairage. Le système se trouve ainsi partagé en travail mécanique et travail lumineux, et l'équilibre est maintenu par le passage de l'énergie d'une branche à l'autre à travers le fil de compensation et la bobine supplémentaire s' du moteur. Les proportions entre les machines dépendront ordinairement des conditions d'une installation donnée.

E. B.

Détermination expérimentale de la réaction d'induit des dynamos, par L. Baumgardt [1].

Il est dans l'usage de calculer le flux de force utile dans un induit de dynamo à l'aide des données : tension, vitesse angulaire, nombre de spires de l'induit.

D'une façon analogue, on peut déterminer le flux nuisible dû à la réaction de l'induit; car dans l'induit en rotation, le champ réactif fixe dans l'espace produit une f. é. m. qui, avec la vitesse et le nombre de spires, permet de calculer le flux. Les points de différence de potentiel maximum sont sur un diamètre perpendiculaire au diamètre de commutation.

Pour utiliser ces remarques, l'auteur effectue le montage suivant. Les balais de travail de l'induit sont reliés par l'intermédiaire d'un rhéostat et d'un ampèremètre à une source de courant extérieure. Des balais auxiliaires, à angle droit par rapport aux premiers, conduisent à un voltmètre. L'enroulement inducteur de la machine est coupé, c'est-à-dire que les inducteurs ne sont pas excités. On fait tourner l'induit, en lui fournissant en même temps du courant : le voltage et la vitesse angulaire mesurés donnent aisément le flux de réaction.

Deux séries de mesures ont été faites, l'une en maintenant constante l'intensité du courant et en faisant varier la vitesse, l'autre avec l'intensité comme variable et la vitesse constante. L'auteur a trouvé que, dans l'un et l'autre cas, la tension augmente proportionnellement à la variable envisagée, et les conclusions qu'il en tire sont celles-ci :

1° Le flux provenant de l'induit n'est pas affecté par les courants de Foucault dans le fer;

2° Ce flux est proportionnel à l'intensité du courant dans l'induit.

[1] *Elektrot. Zeitschrift*, 6 juin 1895.

Il se peut que la réaction soit un peu différente quand les inducteurs sont excités; mais la méthode donne des déterminations de la réaction d'induit suffisamment exacts pour la pratique.

A. H.

Sur une particularité de réglage des dynamos actionnées par machine à vapeur à détente fixe, par F. Mélotte.

L'auteur a signalé dernièrement à ses collègues de l'Association des ingénieurs-électriciens de Montefiore ce fait d'expérience, que pour augmenter le voltage d'une dynamo shunt actionnée par un moteur à détente fixe il est dans certains cas nécessaire, non d'augmenter, mais de *diminuer* l'excitation.

Prenons le cas d'une machine à vapeur dont le régulateur n'agit que sur le modérateur. On constate, par exemple, que dans les environs de la pleine charge, mais un peu en dessous, elle n'atteint pas sa vitesse normale et que le voltage ainsi que le débit de la dynamo sont trop faibles. La vapeur entrant librement, le travail par coup de piston est maximum, et la puissance fournie par le moteur est proportionnelle à la vitesse.

Si, dans le but de relever le voltage, on augmente l'excitation, voici ce qui se produit : la charge de la machine à vapeur augmente; celle-ci tend à se ralentir, mais la puissance de la dynamo diminue plus rapidement que la vitesse, tandis que celle de la machine à vapeur diminue proportionnellement à cette vitesse; de sorte qu'un état d'équilibre est atteint à une vitesse inférieure à la vitesse primitive. En même temps, le voltage a naturellement baissé, de sorte qu'en augmentant l'excitation on est allé à l'encontre du but que l'on se proposait.

Diminuons au contraire l'excitation; la charge tend à diminuer, et la machine gagne en vitesse et produit une puissance proportionnellement plus grande; mais avec la vitesse, la charge de la dynamo croît plus vite que celle du moteur; d'où nouvel état d'équilibre à vitesse et voltage supérieurs.

Ce mode de réglage cesse d'être efficace lorsque la vitesse de régime étant obtenue, le régulateur commence à agir; alors une nouvelle diminution de l'excitation causerait une diminution du champ magnétique, qui ne serait plus compensée par une augmentation de vitesse et le voltage baisserait.

Dans un cas cité par l'auteur, avec une machine de 300 chevaux à 350 tours par minute, qui, avec pleine excitation, ne faisait plus que 315 tours et fournissait 115 volts, on a fait remonter la vitesse à 350 tours et le voltage à 125 volts, avec pleine charge, en diminuant l'excitation.

M. Julius a observé la même particularité de réglage dans la commande d'une dynamo par un moteur à gaz.

A. H.

Synthèse d'ondes de courant, par Barr, Beeton et Taylor.

L'étude des courants périodiques de forme complexe était à l'ordre du jour il y a deux ou trois ans. On trouve dans *La Lumière Électrique* de l'époque, des études du professeur Rowland, et des articles de MM. Boucherot et Hess, traitant de ce sujet. L'intérêt qui s'attache à cette question paraissait à ce moment peu apprécié par le monde industriel qui professe à l'encontre des calculs théoriques une méfiance injustifiée. Depuis, ces études ont été reprises par la voie expérimentale, entre autres, par le professeur Flemming, et l'année dernière les techniciens discutaient vivement sur la signification de la forme du courant variable dans les différentes applications. Si cette discussion n'a conduit à aucune conclusion importante, c'est que le sujet est un de ceux que les mathématiques seules permettent d'éclairer. On parlait de courbes plus ou moins « irrégulières », sans s'attacher à définir ce terme. Dans un des articles cités plus haut, nous avons montré, par exemple, que la forme d'une courbe peut paraître beaucoup plus accidentée qu'une autre, tout en se rapprochant bien plus de la sinusoïde simple. Aussi ne fera-t-on de travail utile que lors-

qu'on se livrera à l'analyse, laborieuse il est vrai, des courbes de courant rencontrées dans la pratique.

Les auteurs de l'article ([1]) dont nous allons donner un résumé suivent la voie inverse, qui peut également conduire à des résultats pratiques : ils font la synthèse de courants des formes les plus variées. Le moyen élémentaire consisterait à engendrer les différentes composantes du courant dans un alternateur ayant plusieurs enroulements induits fournissant des courants de fréquences différentes. Mais les auteurs ont trouvé plus pratique de partir d'une sinusoïde donnée, et d'y injecter (selon leur expression) à chaque demi-période et pendant un intervalle variable, des composantes dues à des effets de capacité ou autres.

Une machine Gramme fournit l'onde fondamentale. (Un alternateur Ferranti a été employé dans la suite pour obtenir une fréquence plus grande.) Sur l'arbre de cette machine est calé un commutateur sur lequel frottent deux balais, entre lesquels est intercalée la résistance ou la capacité qui doit être introduite dans le circuit à chaque demi-tour pendant une fraction de tour variable. L'angle que font entre eux les deux balais, détermine la durée de la mise en circuit, tandis que l'angle que forme un des balais avec l'origine donne l'époque de l'introduction de la résistance. En faisant varier l'intervalle et l'époque de cette injection on obtient des déformations variables de la sinusoïde fondamentale.

C'est la différence de potentiel aux balais du commutateur que l'on étudie. Dans les conditions normales, cette différence de potentiel est représentée par $V = V_0 \sin \omega t$. Quand la résistance est en circuit on a

$$V = \frac{R}{R + r} V_0 \sin \omega t,$$

en appelant r la résistance introduite, et R la résistance du circuit principal. La courbe obtenue sera donc représentée pour une portion de l'onde par la première fonction, et pour le reste de l'onde, par la seconde fonction.

([1]) *The Electrician*, 21 juin 1895.

Le cas est plus compliqué quand il s'agit de l'introduction d'une capacité.

Soit t_1 l'époque à laquelle on introduit le condensateur. On aura alors au temps t :

$$V_1 = V + v.$$

en désignant par v la différence de potentiel au condensateur et V la différence de potentiel aux bornes de la dynamo. Si I est le courant, et C la capacité du condensateur, nous avons

$$v = \frac{1}{C} \int_{t_1}^{t} I dt \quad \text{et} \quad I = \frac{V}{R},$$

En combinant ces trois équations, on obtient

$$V + \frac{1}{RC} \int_{t_1}^{t} V dt = V_0 \sin \omega t,$$

équation dont la solution est représentée par

$$V = V_0 \frac{\omega RC}{1 + \omega^2 R^2 C^2} \left(\cos \omega t - \omega RC \sin \omega t \right) + A e^{-\frac{t}{RC}},$$

La valeur de la constante A se détermine en posant $V = V_0 \sin \omega t_1$, pour $t = t_1$, ce qui fournit

$$A = V_0 e^{\frac{t_1}{RC}} \left[\sin \omega t_1 \left(1 + \frac{\omega^2 R^2 C^2}{1 + \omega^2 R^2 C^2} \right) - \frac{\omega RC \cos \omega t_1}{1 + \omega^2 R^2 C^2} \right].$$

On arrive ainsi à la solution finale :

$$V = \frac{V_0}{1 + \omega^2 R^2 C^2} \Big\{ \omega RC (\cos \omega t - \omega RC \sin \omega t) + e^{\frac{t_1 - t}{RC}} \left[(1 + 2\omega^2 R^2 C^2) \sin \omega t_1 - \omega RC \cos \omega t_1 \right] \Big\},$$

C'est donc là l'équation de la courbe pendant la présence du condensateur en circuit. La courbe résultante est comprise entre celle-ci et la sinusoïde ; elle passe de l'une à l'autre plus ou moins brusquement, selon l'inductance du circuit.

Ayant produit ainsi des ondes complexes, les auteurs en ont déterminé la forme par la méthode du contact instantané de M. Joubert. Puis, à l'aide de l'analyseur harmonique de Sharp, ces ondes ont été décomposées en leurs diverses harmoniques de façon à permettre d'apprécier l'importance et le rôle de chaque composante.

Nous croyons inutile, pour le moment, de reproduire ici les premières courbes obtenues, les auteurs promettant de donner à leur travail une suite se rapportant à des cas pratiques.

A. H.

Modes de captation de l'énergie pour les chemins de fer et tramways électriques, par Holroyd Smith.

Les principes généraux qui régissent l'application de l'énergie électrique à la traction des chemins de fer et tramways électriques sont aujourd'hui assez connus pour qu'il soit inutile d'y revenir, sauf occasionnellement dans l'étude d'un point spécial. Le succès ou la ruine d'une entreprise dépend souvent d'un détail en apparence insignifiant; l'objet de ce travail en est un exemple. Il s'adresse à ceux qui, abordant une question pour la première fois, ne comprennent peut-être pas l'importance de ces détails jusqu'au jour où ils se trouvent en présence des difficultés qu'ils comportent.

Les conditions à réaliser en ce qui concerne la captation du courant dans le cas ici considéré peuvent se résumer de la manière suivante : 1° Etablissement et maintien du contact entre le moteur de la voiture et les conducteurs d'alimentation, aériens ou souterrains; 2° impossibilité de détérioration, électrique ou mécanique, en cas d'arrêt du collecteur de courant ou de déraillement de la voiture; 3° possibilité de franchir les bifurcations et les croisements sans les détériorer ou les mettre en court-circuit; 4° bon isolement des collecteurs en vue de la sécurité du maniement et de l'absence de dérivations; 5° emploi inoffensif pour le public; 6° simplicité, service prolongé et renouvellement peu coûteux des parties frottantes.

La méthode la plus intéressante de traiter cette question serait peut-être de la prendre chronologiquement, d'en suivre le développement et d'arriver ainsi à une classification des divers systèmes employés. Mais ce mode de procéder serait long; la sélection s'impose dès le début.

Dans les premières applications de traction électrique sans accumulateurs portés par la voiture, savoir celle de Thomas Hall, de Boston, en 1852, où l'un des rails servait de conducteur d'aller et l'autre, de conducteur de retour, puis celles faites sur une plus grande échelle par le Dr. Siemens en 1879, et ultérieurement celle de Volk, à Brighton, les roues devaient naturellement être isolées l'une de l'autre, sans quoi elles auraient établi un court-circuit par les essieux; elles constituaient d'ailleurs un mode aussi simple que facile de captation du courant; mais l'adhérence inévitable de la boue et de la poussière était un grave obstacle à leur bon fonctionnement comme collecteurs. Il est inutile d'entrer dans les détails de balais, disques, etc., essayés pour remédier à cet inconvénient : le système d'aller et de retour par les rails ne semble pas devoir être jamais appliqué pratiquement à la traction des tramways. Imaginé bientôt après, mais péniblement accepté, le rail ou conducteur central fut ensuite employé. Les balais de dynamos hantèrent évidemment l'esprit de celui qui en eut la première idée; mais on se heurta à des difficultés pour le renversement de marche; les balais frottaient doucement dans un sens, mais ils se rebroussaient si on essayait de les faire fonctionner en sens inverse, et le moindre ressaut de la voiture amenait des dérangements. On eut alors recours à l'emploi de sabots de fonte, maintenus par des boulons à ressorts, facilement montables et démontables, qui suivent d'eux-mêmes les inégalités du conducteur et qu'une disposition convenable de cordes de traction flexibles permet de faire fonctionner aussi aisément dans un sens que dans l'autre. Mais ces deux modes de captation exigent des dispositions spéciales du conducteur aux aiguilles et aux points de croisement. La forme la plus simple est celle adoptée sur la ligne du City and South London Railway et ailleurs encore, où les sabots incurvés reposent sur le rail uniquement par leur poids. Ce montage continuant à

être employé, il est probable qu'il fonctionne suffisamment bien; toutefois, il est évident que, si une faute ou une obstruction vient à se présenter sur le rail conducteur (là, par exemple, où il est remplacé par du bois aux croisements de voie) et si le sabot de tête vient à tomber, il doit immédiatement coincer et déterminer une rupture. Il est étonnant qu'on n'ait pas imaginé une disposition plus sûre.

La ligne de Portrush à Bushmill offre un autre spécimen de mode de captation sur conducteur plan. Ici le conducteur est un fer à T renversé monté latéralement à la voie à 50 cm environ au-dessus du sol; la voiture porte sur le côté un bras saillant muni à son extrémité d'un ressort de voiture au-dessous duquel est monté un sabot qui glisse sur le rail accessoire. Ce système fonctionne parfaitement, mais on peut lui objecter la trépidation inévitable du sabot.

Tous ces collecteurs frottent sur le rail conducteur, et il est naturel de se demander s'il n'en résulte pas une usure considérable qui pourrait être évitée par un contact à roulement. Avant de discuter la valeur relative des deux procédés, il n'est pas inutile de se reporter à ce qui a été fait.

Le premier caniveau électrique souterrain, établi à Moorfield, Halifax, en 1883, comportait l'emploi de quatre galets montés parallèlement deux à deux et isolés d'un côté à l'autre, une des paires de galets servant à la prise, et l'autre au retour du courant. Des sabots frottants complétaient en outre le système. Il fonctionna suffisamment bien aux essais, mais ne fut pas considéré comme assez sûr pour être appliqué sur une grande échelle et provoqua des études plus complètes. On ajouta d'abord une lame d'acier, analogue à un soc de charrue, passant verticalement par la rainure longitudinale du caniveau et aboutissant à la surface de la voie; les conducteurs de cuivre isolés étaient pris dans cette bande d'acier. On remplaça les frotteurs par des disques collecteurs, montés sous un certain angle par rapport à la ligne de mouvement, ce qui avait pour résultat d'assurer une action combinée de roulement et de glissement. Un système collecteur établi sur ce principe a été employé avec la première locomotive électrique essayée sur le Manhattan Elevated Railway de New-York. Cette disposition peut être regardée comme le mode le plus simple d'utilisation des collecteurs à roulement; mais l'expérience a montré l'inefficacité de leur emploi, en raison de la trop faible surface de contact que présente un galet pour la captation des courants intenses nécessaires à la traction. Les galets passent d'ailleurs par-dessus les matières étrangères qui peuvent se trouver sur le conducteur; il en résulte des ruptures de contact et de nombreuses étincelles plus nuisibles, comme détérioration, que l'usure due aux frottements. Les paliers des galets sont également une source de trouble et d'ennuis. Ces complications, le coût de premier établissement, les difficultés et les dépenses d'entretien, les frais de renouvellement, tout tend à reléguer (à quelques exceptions près) les galets collecteurs dans la catégorie des intéressants souvenirs du passé.

Nous n'avons passé en revue jusqu'ici que la captation du courant sur surfaces planes. La question devient plus complexe avec des conducteurs de forme plus compliquée, et la classification en est difficile. Il est intéressant de noter cependant que, si dans certains cas on a donné trop peu d'attention au collecteur, dans d'autres on y a introduit des complications inutiles. On en trouve un exemple dans le système adopté par la maison Siemens pour le tramway électrique établi, lors de l'Exposition de 1881, entre la place de la Concorde et le Palais de l'Industrie. La description en a été donnée partout, et notamment dans la *Lumière Electrique* de l'époque; il suffit de rappeler que les conducteurs étaient formés de deux tubes en cuivre fendus, placés latéralement à la voie et séparés l'un de l'autre par une épaisseur de bois; dans ces conducteurs circulait une navette comprenant quatre frotteurs en cuivre en forme d'olives, reliés entre eux par des câbles sou-

ples ; ces frotteurs étaient en deux parties, séparées par un ressort en boudin, de manière à assurer un bon contact avec le tube, même en cas d'usure des olives. Cette prise de courant, également employée par la même maison sur le tramway de Francfort à Offenbach, et si intéressante qu'elle fût, était trop encombrante et compliquée pour être définitivement adoptée. On s'élève déjà assez aujourd'hui contre les simples fils tendus dans les rues qui privent les habitants de la vue du ciel bleu. Que dirait-on de l'effet de deux tubes, même simplement isolés par l'air? Cette disposition permettait cependant de franchir les bifurcations. — Un collecteur analogue comme fonctionnement a été appliqué sur le Métropolitain de Londres, où les conducteurs sont en fer cornière, supportés par des étriers aériens isolés. Le collecteur peut, dans ce cas, quitter à tout moment la cornière, ce qui, au point de vue des bifurcations et des croisements, présente une analogie avec le système de prise du courant sur les rails. Cet ensemble se prête très bien au fonctionnement des tramways et est à tous égards préférable au système de rail médian.

Sur un certain nombre des premières lignes de tramways établies en Amérique et ailleurs, on a eu recours à deux fils aériens, l'un d'aller, l'autre de retour, sur lesquels courent de petits trôlets ou chariots, analogues aux collecteurs employés à Moorfield, Halifax, renversés et à poulies à gorge au lieu de poulies pleines. On s'est heurté à de grandes difficultés pour le maintien des trôlets [1] sur les fils, d'une part en raison de l'impossibilité de fixer et de maintenir les fils toujours dans un même plan horizontal (notamment dans les courbes), l'un penchant plus que l'autre et faisant incliner le trôlet ; d'autre part en ce que les dispositions adoptées ne tenaient pas suffisamment compte de la tension et des efforts latéraux exercés sur le câble de halage. L'exemple le plus récent de ce mode de captation fonctionne dans le tunnel actuellement en construction à Blackwall sous la Tamise, où des précautions spéciales ont été prises en vue de parer aux inconvénients signalés. Avec tous les collecteurs glissant à la surface ou à l'intérieur des conducteurs et entraînés par un câble ou par toute autre connexion fléxible, il faut se garder contre les accidents susceptibles de se produire par arrêt de la navette ou du trôlet. On y est arrivé par des dispositions spéciales dont la description, si intéressante qu'elle soit, nous entraînerait trop loin.

L'emploi de trôlets plus perfectionnés dans les canalisations souterraines exige tout d'abord une courte description des caniveaux eux-mêmes. Nous commencerons par celui établi en 1884 à Cornbrook, près de Manchester, pour le comparer à celui qui vient d'être installé à Budapest. Ils diffèrent plus par leurs proportions qu'à d'autres égards. Les conducteurs de Cornbrook sont semi-circulaires, tandis que ceux de Budapest sont angulaires. Dans les deux cas le collecteur doit avoir une certaine étendue transversale de manière à maintenir les galets ou sabots en contact avec la moitié des tubes ou des cornières. Les galets sont cannelés en hélice de manière à subir dans leur entraînement une certaine torsion qui débarrasse les demi-tubes de la poussière ou des impuretés susceptibles de s'y accumuler. La disposition à Budapest diffère peu d'études précédemment faites à l'époque de la construction de la ligne de Cornbrook, en ce sens qu'ici les sabots étaient carrés, au lieu d'avoir à fonctionner dans un fer cornière. La construction première de la canalisation de Blackpool a été récemment modifiée de la manière suivante : les deux conducteurs en forme de C ont été remplacés par une tige massive de cuivre, ce qui a nécessité une modification du collecteur. Il est formé de trois parties principales, une

[1] C'est intentionnellement que nous substituons le mot français « trôlet » au mot anglais « trolley » usité jusqu'ici. Comme l'a très justement fait remarquer M. Pellissier, le verbe « trôler » (trainer derrière soi, d'une façon un peu encombrante) existant dans notre langue, nous n'avons pas besoin d'y introduire un mot étranger dérivé d'un verbe équivalent.

pièce centrale et deux socs d'introduction qui lui permettent de circuler dans les deux sens. L'un des éléments de succès est l'emploi de collecteurs flexibles reliés à la voiture d'une manière également flexible et pouvant la quitter automatiquement. A cet effet les deux socs sont reliés à la pièce centrale, soit par des bandes d'acier doux, soit par des plaques de fer mobiles. Les lames d'acier constituant les socs sont maintenues par des joues en fonte montées angulairement et s'étendant vers le bas un peu au-dessous des parties en acier qui forment la surface de la canalisation. Leurs extrémités supérieures se terminent par un crochet ou doigt recourbé en arrière. Les crochets reçoivent la pince des câbles de halage fixés à l'avant et à l'arrière de la voiture. L'action de ces pinces est suffisante pour leur permettre de résister à l'effort de travail normal; mais, si un obstacle absolu se présente, elles s'ouvrent et le collecteur reste en arrière, tandis que la voiture, en vertu de sa vitesse acquise, continue sa marche en avant, et la pince du câble de sortie quitte le crochet du soc d'arrière. S'il en était autrement, l'effort nécessaire pour la faire céder ferait basculer le collecteur et amènerait le contact faisant partie de la pièce centrale à se mettre en court-circuit avec la partie inférieure de la canalisation d'acier. La pièce centrale consiste en une emboîture en fonte supportant une plaque épaisse de laiton, complètement isolée et protégée par des gardes d'acier dur à son passage dans la rainure de la conduite. Le dessous de la plaque isolée est garni de matière a bien établir le contact avec la tige conductrice. Le courant arrive du collecteur par un bout de fil isolé muni d'une pince à ses deux extrémités et relié, d'un côté, à une borne sous la voiture et, de l'autre, à la partie supérieure de la plaque de laiton qui passe dans les emboîtures en fonte. En cas de rupture du collecteur, ces pinces l'abandonnent aisément. Dans une autre forme de collecteur essayée avec succès, la tige conductrice est suspendue à la partie supérieure du caniveau ou repose sur des isolateurs, et est embrassée par un crochet qui constitue l'organe collecteur du système.

Ce mémoire n'envisageant que les appareils autrefois ou actuellement en usage, ne donne pas la description anticipée de collecteurs étudiés en vue d'application sur des lignes en construction.

Les essais de traction électrique de tramcars en série avec des courants de haute tension ont présenté d'ailleurs tant de complications, de difficultés et de mécomptes, qu'il est inutile de décrire aucun des collecteurs d'essai imaginés dans ce but.

On a beaucoup écrit et l'on a fait quelques tentatives en vue d'introduire les caniveaux souterrains fermés; mais nous ne nous arrêterons pas à la description des collecteurs qu'ils comportent; elle exigerait préalablement des détails complets et spéciaux des conduits eux-mêmes et des dispositions électriques, mécaniques et autres qui s'y réfèrent. Il y a là les éléments de tout un travail distinct très intéressant.

Sans envisager pour le moment la question de supériorité des canalisations souterraines sur les fils aériens là où le trafic est assez important pour justifier la mise de fonds qu'elle comporte, il est certain que la facilité de construction et d'exploitation du système aérien, et les frais relativement peu élevés qu'il entraine en rendent l'application désirable pour tous ceux qu'intéresse la traction électrique. Bien des lignes ainsi montées seraient en effet rémunératrices, tandis que le trafic n'y serait pas assez actif pour assurer un dividende à la plus grande immobilisation d'une canalisation souterraine.

Il a cependant été déjà fait allusion aux difficultés inhérentes à l'emploi de trôlets, de navettes ou appareils analogues courant à la surface ou à l'intérieur d'un conducteur aérien. La question de pose et d'enlèvement, le risque continuel de chute, l'effort exercé sur lui par le poids et la traction du collecteur qui nécessite l'emploi de supports ou de poteaux très rapprochés, tout conduit donc à désirer quel-

que chose de mieux. Un des plus anciens exemples de contact en dessous est le système employé par le Dr. Hopkinson sur la ligne de Bessbrook à Newry, où une barre transversale supportée par deux tiges droites, montées de part et d'autre du toit de la voiture, s'engage sous la flèche des fils suspendus le long de la voie. Cette solution est simple mais n'est pas élégante. Elle exige deux fils au lieu d'un; elle est d'un établissement difficile sur un sol accidenté et donne un contact incertain, la pression de la barre transversale variant avec la position occupée par la voiture par rapport à la flèche du fil. Le remède à cet inconvénient était si évident qu'il est difficile d'attribuer à qui que ce soit l'idée première d'employer un seul fil aussi bien tendu que possible, et d'établir le contact par une barre transversale mobile au lieu d'une barre rigide, car il faut admettre que ceux auxquels les circonstances et leur situation permettent d'appliquer une chose ne sont pas toujours les premiers à la concevoir. Un des avantages de cette disposition est la suppression de tout mouvement latéral; elle rend plus facile le montage de fils aériens aux courbes et à la traversée des places. Le point faible du système est le peu d'étendue du contact entre le fil aérien rond et la barre collectrice également ronde montée à angles droits avec lui. Au lieu de la barre on a bien essayé des galets longs et des plaques courbes susceptibles d'un mouvement de va-et-vient, mais aucun de ces essais n'a donné de résultats très satisfaisants. On a aussi cherché naturellement à multiplier les barres collectrices; mais on n'a ainsi abouti qu'à augmenter le fâcheux aspect de la ligne.

Une disposition analogue mais meilleure a été réalisée par la « canne à pêche », ou, comme on l'appelle plus généralement, la tige de « trôlet », actuellement appliquée sur une vaste échelle en Amérique où elle a pris naissance et à laquelle la traction électrique doit sa rapide extension. Nul détail de montage n'a peut-être été l'objet de plus d'imagination et d'invention que cet appareil (si simple que soit par elle-même l'idée d'une baguette munie d'une poulie à son extrémité), étant données les conditions qu'il doit remplir et qui ne sont pas aussi faciles à réaliser qu'elles le paraissent à première vue. En effet (1) cette tige doit d'abord donner toute sécurité et joindre la résistance mécanique à la légèreté; (2) elle doit assurer un contact avec le fil aérien, quelles que soient les variations de hauteur du fil au-dessus de la voiture, et la pression de contact doit être aussi uniforme que possible; (3) elle doit être susceptible d'un déplacement latéral considérable, pour permettre de franchir les courbes et bifurcations; (4) elle doit pouvoir circuler avec toute sûreté dans les deux sens; (5) elle doit pouvoir s'enlever facilement et se remettre de même en place.

Les voitures en faveur aux États-Unis n'ont pas d'impériale, ce qui simplifie beaucoup les dispositions à prendre pour satisfaire à ces multiples exigences. Un travail récent de M. Blackwell, lu dans une des réunions de l'Institution of Electrical Engineers, donne, avec figures à l'appui, de remarquables solutions du problème. Une des dispositions les plus intéressantes va être prochainement appliquée à Bristol pour l'égalisation de la pression de contact sur le fil aérien. Nous aurons l'occasion d'y revenir après sa mise en exploitation.

Si sommaire que soit forcément cette communication faite au commencement d'avril à la Société du Nord des Ingénieurs électriciens elle résume l'état d'une question tout à fait à l'ordre du jour chez nous en ce moment où, sous l'impulsion de diverses Sociétés, la traction électrique commence à prendre une tardive extension. E. B.

Sur la chute de potentiel dans les alternateurs par von Dolivo-Dobrowolsky.

Dans une récente communication faite à la *Société électrotechnique* de Berlin, M. von Dolivo-Dobrowolsky est revenu sur une discussion antérieure relative à la chute de potentiel la plus favorable dans les alternateurs. Le Dr Hopkinson a, comme on sait, trouvé par le calcul que, pour la marche synchrone

de deux alternateurs, il existait un certain rapport plus particulièrement favorable entre la résistance et la self-induction, et que la self-induction jouait le principal rôle. De là bien des constructeurs ont conclu qu'il fallait augmenter beaucoup la self-induction, attendu qu'il est à peu près impossible de calculer d'avance le rapport d'Hopkinson. Mais il est souvent arrivé qu'on a donné trop de self-induction aux machines, ce qui avait pour résultat de les mettre hors de concordance de phase. On a expliqué le fait en disant qu'il n'y avait pas encore assez de self-induction, et on en est arrivé à essayer d'amener la machine au point de ne pouvoir plus donner, en raison de sa self-induction, plus d'une fois et demie sa puissance normale. M. Mordey a soutenu l'avis diamétralement opposé, en disant que les alternateurs devaient avoir peu de résistance et peu de self-induction. Plus est faible, en effet, la chute de potentiel dans la machine, plus on peut lui demander des courants intenses. Cependant les preuves les plus pratiques et les plus convaincantes données par M. Mordey n'ont pu ébranler la foi dans la self-induction, et la discussion est toujours ouverte.

Naturellement, après le grand nombre d'expériences effectuées avec des alternanateurs à faible chute de potentiel, dont le fonctionnement en parallèle a été tout aussi bon que celui d'alternateurs à chute élevée, certains théoriciens ont modéré leurs exigences, et se déclarent en réalité satisfaits d'une chute de potentiel de 15 à 20 p. 100.

M. Dolivo-Dobrowolsky pense pouvoir prédire que les constructeurs de dynamos se rangeront bientôt à l'avis qu'une faible chute de potentiel de plus ou de moins est sans grande conséquence au point de vue d'un bon fonctionnement en parallèle, notamment à défaut de preuves pratiques que trop peu de résistance ou de self-induction ait jamais empêché des alternateurs de fonctionner en parallèle d'une manière satisfaisante. Mais alors, si ni le fonctionnement en parallèle, ni les conditions de synchronisme n'exigent une grande chute de potentiel, le principal argument en faveur de la construction d'alternateurs à grande self-induction disparaît.

La chute de potentiel présente de nombreux inconvénients, particulièrement sensibles dans l'entraînement des moteurs. La composante sans watts du courant agit avec tous ses ampères-tours dans le sens de la force magnétomotrice de la machine primaire; par suite, avec les courants de moteurs, on a une plus forte réduction du champ magnétique qu'avec des courants d'éclairage, et une machine de la dernière classe considérée, avec une chute de potentiel de 15 p. 100, ne convient en conséquence nullement au fonctionnement satisfaisant des moteurs. Si l'on considère que, pour les petits moteurs, cos φ est rarement supérieur à 0,7, pour atteindre à peine 0,87 dans les grands, et si, d'autre part, on se persuade que la composante sans watts s'élève de 0,7 à 0,5 du courant total, on concevra aisément le résultat déplorable que devra avoir la réduction ci-dessus d'ampères-tours.

Cependant, comme actuellement la question des moteurs sollicite la plus sérieuse considération de la part des stations productrices d'énergie électrique, la question de construction des machines se résoudra, sans aucun doute, d'une seule manière, savoir la plus faible chute possible de potentiel. On ne peut lui fixer aucune limite; mais les meilleures machines actuelles sont encore loin de la perfection à cet égard. Dans l'opinion de l'auteur et suivant son expérience, il est absolument nécessaire et parfaitement possible d'arriver à ce que la chute de potentiel due au courant d'éclairage ne dépasse pas 4 à 5 p. 100 et même alors, on aura encore, à pleine charge, avec le courant de moteurs, une chute de 15 à 20 p. 100. La seule raison admissible qui ait été mise en avant contre de telles machines est le danger de court-circuit. L'expérience des courants continus a cependant appris que les dynamos sont mieux protégées par de bons fusibles et des coupe-circuits automatiques que par un enroulement contre-

compoundé. Avec des courants alternatifs et un fonctionnement à champ tournant, on peut en conséquence se passer de self-induction qui d'ailleurs n'a d'autre effet que de détériorer la machine.

En terminant, l'auteur fait observer qu'il a traité la self-induction et la réaction d'induit dans une certaine mesure comme une seule et même chose, ce qui n'est pas absolument correct; mais c'est une explication de la self-induction elle-même qu'il cherche à donner plutôt que son origine et son calcul. D'ailleurs les deux phénomènes se tiennent de très près, se manifestent généralement en même temps et sont du même ordre, de sorte que les machines à grande réaction ont également beaucoup de self-induction, et inversement.

E. B.

REVUE DES SOCIÉTÉS SAVANTES ET DES PUBLICATIONS SCIENTIFIQUES

Réunion annuelle de la Société allemande d'électrochimie.

Cette Société, de création récente, mais comptant déjà plus de 400 membres vient de tenir à Francfort son congrès annuel. Quoique n'apportant pas beaucoup de nouveautés, les communications faites à ce congrès, sont intéressantes, et nous en donnons ci-après le résumé, d'après le compte rendu publié par notre confrère *Elektrotechnische Zeitschrift*.

Le professeur Ostwald, président, après avoir présenté comme type le plus ancien d'un télégraphe électrolytique, le modèle original de Sömmering conservé par la Société de physique de Francfort fait une conférence sur *le lieu de la force électromotrice*.

A la notion purement physiologique de Galvani, Volta substitua une explication physique; il s'agissait d'expliquer l'apparition de phénomènes électriques au contact de trois conducteurs appartenant à des classes différentes. Sans s'arrêter aux phénomènes chimiques si apparents entre métal et liquide, Volta désigna comme lieu de la force électromotrice un point de contact entre les deux métaux. Comme conséquence de cette théorie du contact, on aurait un mouvement perpétuel, puisqu'il n'y a pas production d'énergie par simple contact des métaux.

L'établissement de la série électromotrice était rendue possible par ce fait, qu'on ne pouvait mesurer la f. é. m. d'un seul contact, mais qu'on avait toujours la somme de plusieurs f. é. m.; la variable indépendante ainsi introduite pouvait donc être déterminée tout à fait arbitrairement.

Les adversaires de cette théorie, qui voyaient la cause du phénomène dans la réaction chimique entre métal et liquide, ne purent faire tomber l'objection, que précisément les réactions les plus vives ne donnaient pas lieu à la manifestation de forces électriques.

La théorie nouvelle eut l'appui de Faraday, qui, partant de l'impossibilité du mouvement perpétuel, rechercha la cause pouvant remplacer au fur et à mesure de sa production, l'énergie électrique recueillie. Mais la relation quantitative, entre la réaction chimique et la production d'énergie ne devint claire qu'avec l'établissement de la loi de l'énergie par Robert Mayer, combinée avec la loi de Joule, jusqu'à ce que Thomson eût reconnu que la f. é. m. de l'appareil de Volta est proportionnelle au développement de chaleur dans la réaction chimique.

Quoique Helmholtz réussît à calculer la f. é. m. de la pile par un procédé cyclique indépendant des grandeurs électriques, la question du lieu de production de la f. é. m. n'était pas encore résolue.

Pour y répondre l'auteur fait l'expérience suivante : On verse sur une goutte de mercure de l'acide sulfurique et du bichromate de potassium. En touchant la goutte latéralement avec une pointe de fer, on la voit se contracter et s'étaler successivement dans une série d'oscillations violentes. L'explication de ce phénomènes étudié par Lippmann est celle-ci : Entre le mercure et l'électrolyte il doit exister, en

général, une différence de potentiel; nous pouvons donc considérer la couche de séparation comme un condensateur, entre les armatures duquel s'exerçent des forces électrostatiques ces forces tendent à aplatir la goutte en combattant la tension superficielle. Lorsque la pointe métallique provoque la décharge, la goutte reprend la forme sphérique; en l'éloignant de la pointe de métal, elle se charge au potentiel primitif, s'aplatit de nouveau, et repasse par les phases successives déjà indiquées.

On a dans cette expérience la démonstration de l'existence d'une f. é. m. à la surface de contact entre métal et liquide. Il suffit de montrer en outre, que les autres points de contact du circuit sont neutres. Les expériences faites au laboratoire Ostwald montrent effectivement que les f. é. m. aux points de contact entre métaux sont tout au plus de l'ordre de grandeur des millivolts, alors que la série de Volta indiquerait des volts.

M. Pollak parle ensuite de son appareil pour la *charge des accumulateurs à l'aide du courant alternatif*. L'appareil ayant été décrit en détail ([1]), rappelons seulement que le procédé consiste simplement à n'intercaler les accumulateurs dans le circuit à courants alternatifs que pendant l'intervalle de chaque période, où la f. é. m. est supérieure à celle des accumulateurs.

En s'étendant sur un *nouveau procédé d'analyse par l'électrolyse*, M. Jordis décrit une méthode de précipitation des métaux par l'électrolyse de leurs lactates, qui présenterait des avantages sur la méthode aux oxalates de Classen. L'auteur a étudié à ce point de vue les sels de zinc, de fer et de mercure. Il donne beaucoup de renseignements sur le choix de la densité de courant, de l'écartement des électrodes, de la concentration, etc., et montre l'application de ce procédé en galvanoplastie, où il a donné, pour tous les métaux, de bons résultats. Ce procédé, sur lequel on nous promet des détails plus complets, est breveté.

([1]) *La Lumière Electrique*, t. L. p. 54

Le professeur E. Wiedemann donne ensuite un aperçu des observations qui ont été faites sur les *actions chimiques et optiques des rayons cathodiques*.

L'auteur établit d'abord la priorité des études de Hittorf par rapport à celles de Crookes, en ce qui concerne les phénomènes lumineux produits dans les gaz raréfiés par l'électricité à haute tension; puis il traite de la nature de ces phénomènes consistant dans la luminosité des corps sans le développement de chaleur correspondant à l'incandescence.

Le phénomène peut s'interpréter soit physiquement par les vibrations moléculaires, soit chimiquement; on inclinait généralement jusqu'à présent vers la première interprétation, parce qu'on n'a pu établir l'existence de modifications chimiques des corps soumis à l'expérience.

Les recherches les plus récentes de l'auteur font toutefois pencher la balance en faveur d'une explication chimique, basée sur cette considération, que le mouvement dû à des vibrations mécaniques devrait s'étendre peu après la disparition de la cause, tandis qu'au contraire, la luminosité des corps subsiste très longtemps, et, particularité importante, est intensifiée par la chaleur (luminescence calorifique).

L'auteur en fait l'expérience sur une série de substances. L'impossibilité d'y déceler des changements chimiques proviendrait simplement de la petitesse de la quantité d'énergie nécessaire pour produire ce rayonnement. On peut en avoir une notion, en remarquant que la puissance rayonnante de l'étalon Hefner (énergie lumineuse) n'est guère que de 0,01 gramme-calorie (par seconde).

En ce qui concerne le rendement de ce genre de production de lumière, l'auteur indique qu'il n'est probablement pas aussi élevé qu'on le croit généralement, car dans ses recherches il a rencontré, à côté des rayons lumineux et cathodiques, d'autres rayons optiquement inactifs (comme les rayons obscurs de nos sources de lumière).

Dans une communication sur les *accumu-*

lateurs, M. Elbs donne une intéressante contribution à la théorie de l'accumulateur. En s'appuyant sur des expériences, il montre que l'acide persulfurique ne peut en aucune façon être la cause de la formation du peroxyde de plomb, parce que celui-ci n'apparaît que dans les solutions neutres, qui ne se rencontrent naturellement jamais dans les accumulateurs.

M. Borchers montre ensuite, à l'aide d'un four électrique qu'il construit sous les yeux de l'auditoire, la *fabrication du carbure de calcium*. Il insiste sur ce fait, qu'il ne s'agit là nullement d'un procédé électrolytique mais simplement d'une réduction opérée sous l'action de la température intense de l'arc électrique, l'expérience se faisant tout aussi bien avec le courant alternatif. Cette réduction a déjà été signalée en 1862 par Wöhler, et a été publiée il y a douze ans par l'auteur.

M. Frölich fait remarquer que dans les essais institués par la maison Siemens et Halske on a observé une constance surprenante et encore inexpliquée du rapport de la quantité de carbure à l'énergie employée.

Un procédé de *tannage électrique des peaux*, permettant de réduire la durée de l'opération à six jours, est décrit par M. Foelsing, mais sans donner une explication de l'action du courant.

L'*accumulateur de Kowalski* est présenté par son inventeur. Les électrodes en plomb antimonié sont placées dans une enveloppe perforée de celluloïd qui empêche la chute de la masse active. On a atteint une capacité de 20 à 27 ampères-heures par kilogramme d'électrodes. Ces éléments servent depuis neuf mois à l'éclairage des trains sur la ligne de Paris à Marseille. Le rendement serait de 78 à 82 p. 100.

Enfin, le professeur Ihle présente une expérience démontrant l'*action catalytique de l'acide azoteux*. Un élément Grove dont l'acide était dilué au point que le galvanomètre donnait à peine une déviation appréciable, fournit une déviation énergique après addition au liquide de quelques dix-millièmes d'acide azoteux.

A. H.

Action des courants électriques internes sur l'aimantation du fer, par le Dr J. Hopkinson [1].

Tout le monde connaît l'expérience suivante de Faraday. Sur un anneau de fer sont roulées quelques spires de fil de cuivre dans lequel on peut faire passer un courant. Cet anneau est également enroulé d'une seconde bobine reliée par ses extrémités à un galvanomètre. On sait que, si on lance un courant dans la première bobine ou bobine primaire, l'anneau s'aimante, et que, si l'on renverse le sens de ce courant, l'aimantation change également de sens. Faraday a montré que, au moment du renversement de cette aimantation, la seconde bobine devient le siège d'un courant momentané. Le courant primaire qui est renversé permet de mesurer la force magnétomotrice et le courant total qui, sous l'action de ce renversement, prend naissance dans la seconde bobine est une mesure de l'induction dans le fer. Ce courant dans la seconde bobine est de sens contraire à celui qui circule dans la bobine primaire après renversement; autrement dit, il est de même sens que le courant primaire avant renversement. Si les changements d'aimantation du fer produisent un courant dans la bobine reliée au galvanomètre, ils tendront évidemment aussi à produire un courant dans la bobine primaire qui entoure également le fer et qui est reliée à la source. Ce courant est connu sous le nom d'extra-courant. Il prolonge pendant un court intervalle de temps le courant de la bobine primaire dans le sens qu'il avait avant l'inversion et retarde sa circulation en sens contraire. Si la pile qui fournit le courant est composée d'un grand nombre d'éléments et que la f. é. m. donnant naissance à cet extra-courant agisse sur des résistances dépourvues de self-induction, cette pile fournira une f. é. m. pour s'opposer aux courants produits par le changement d'aimantation et le renversement du

[1] Traduction *in extenso* d'un mémoire à la *Royal Society* et dont une analyse sommaire a été donnée précédemment (*Éclairage Électrique*, t. II p. 326).

courant primaire s'effectuera rapidement. Mais si le nombre des éléments est juste suffisant pour produire un courant à travers les résistances de l'électro-aimant le changement sera beaucoup plus lent.

Si l'on prend un transformateur ordinaire à électro-aimant en forme d'anneau, mais à noyau lamellé dans le but de prévenir le développement de courants dans le fer même, et qu'on lance dans le primaire le courant d'un seul élément de pile ou d'accumulateur donnant environ deux volts, on observe que la production, puis la disparition ultérieure du courant induit dans la bobine secondaire exigent un temps assez long, 15 secondes environ.

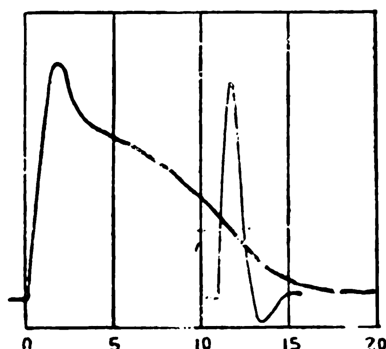


Fig. 1.

Si, au contraire on relie le primaire à une pile de f. é. m. élevée ou aux conducteurs d'une canalisation et qu'on répète l'expérience avec le même courant primaire, on remarque que le courant arrive beaucoup plus rapidement à son maximum et disparaît également beaucoup plus vite; ces variations ne prennent guère plus de trois secondes environ, au lieu de quinze dans le cas précédent. La sensibilité du galvanomètre doit d'ailleurs être modifiée entre les deux expériences de manière à donner une déviation plus facilement observable. Dans le premier cas il est beaucoup plus sensible que dans le second.

On peut représenter les déviations du galvanomètre sous forme de courbes dans lesquelles les temps sont portés en abscisses et les déviations en ordonnées. La courbe représentée dans la figure 1 a été obtenue par photographie sur une plaque se mouvant avec une vitesse uniforme à travers le champ. On y voit les deux courbes fournies par une f. é. m. élevée et par une plus faible. Les moments auxquels l'inversion a été opérée dans chaque cas sont marqués par le brusque renversement de la courbe. Les résultats sont bien ceux indiqués ci-dessus : les changements avec la pile de grande f. é. m. s'effectuent rapidement; ceux qui correspondent à la plus faible sont plus lents. Quant aux différences qu'elles peuvent présenter à leurs extrémités, elles ne font pas en réalité partie des phénomènes; elles sont uniquement dues au moment d'inertie des parties mobiles du galvanomètre.

Dans ces expériences on a employé du fer lamellé de manière à parer précisément au phénomène particulier qui fait l'objet de ce travail. Le fer est, comme chacun sait, bon conducteur de l'électricité, moins bon que le cuivre, mais encore supérieur à cet égard à toute substance autre que les métaux. Or dans un électro-aimant à anneau de fer massif, les portions externes du fer sont dans la même situation que les bobines de cuivre qui les enveloppent. Le renversement du courant magnétisant induira des courants dans le fer et ces courants retarderont les changements d'induction magnétique dans ces parties; le retard sera d'autant plus prononcé que le point considéré du fer sera situé plus profondément. En vue de ses expériences à cet égard, le Dr Hopkinson a fait construire un grand électro-aimant pour étudier les changements d'induction que présente le fer à différentes profondeurs quand on renverse le courant d'excitation. Cet électro-aimant est schématiquement représenté par la figure 2, en section verticale et en section horizontale. Il se compose d'un cylindre central en fer, entouré d'un anneau de fer fermé lui-même à ses extrémités par une culasse également en fer qui complète le circuit magnétique. Entre le cylindre et l'anneau sont roulées les bobines de cuivre magnétisantes. Dans le cylindre massif sont percés des trous perpendiculaires les uns aux autres qui se rencontrent à l'inté-

rieur du fer. Dans ces trous est introduit un toron de fils de cuivre connecté ensuite de telle sorte que les bobines qu'il constitue se trouvent en série l'une sur l'autre. On a ainsi une bobine qui enveloppe en 3, en 2 et en 1, des portions de fer sensiblement de même section. Dès lors, si on relie ces bobines à un galvanomètre, elles fourniront les éléments de mesures des changements d'induction dans les sections 3, 2 et 1 qu'elles enveloppent, et l'on pourra observer les moments auxquels les courants dans le fer permettent la manifestation du renversement dans les bobines de cuivre. L'électro-aimant annulaire comporte en outre une bobine marquée 4. Quand on renversera les

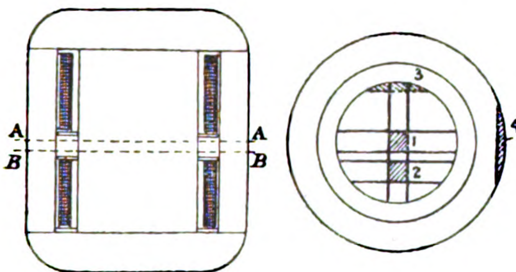


Fig. 2.

courants dans les grandes bobines de cuivre, l'aimantation ou l'induction dans les bobines 1,2, 3 et 4 se renversera également, mais plus lentement, et des courants seront induits dans ces bobines. On verra comment ces courants se présentent et sont modifiés par ceux qui se produisent dans le fer ; les changements d'induction induisent des courants dans le fer et ceux-ci retardent, à leur tour, les changements d'induction.

On voit d'après la figure 3 que la perturbation d'induction se manifeste dans la bobine la plus extérieure 3 dès le renversement du courant ; elle n'apparaît que quelques instants après dans la bobine n° 2, et beaucoup plus tard encore dans la bobine n° 1.

On étudiera ensuite la différence des résultats obtenus suivant l'intensité du courant magnétisant. Dans toutes ces expériences on fait usage d'une pile de grande puissance et son excès de f. é. m. est absorbé par des résistances dépourvues de self-induction constituées par des lampes, de manière à circonscrire les effets dans les limites de ceux dus aux courants dans le fer, et à s'affranchir autant que possible des effets d'induction dans les bobines de cuivre elles-mêmes.

Ces premières courbes se réfèrent à une force magnétisante assez faible, $\mathcal{H} = 2{,}4$ unités C. G. S. ; l'aiguille du galvanomètre de la bobine n° 3 dévie immédiatement et revient de même au zéro, parce qu'il n'existe extérieurement à elle aucune épaisseur de fer dans laquelle puissent circuler des courants. La bobine n° 2 donne lieu assez promptement à

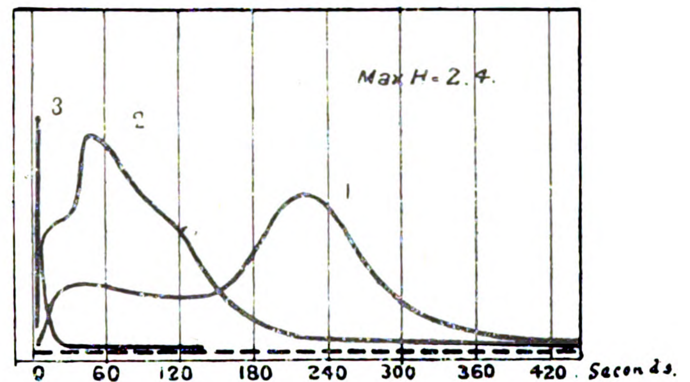


Fig. 3.

une déviation d'une certaine valeur ; mais cette déviation ne prend de l'importance qu'au bout de 50 secondes. La courbe n° 1, correspondant à la bobine qui porte le même numéro, affecte la même allure ; mais la déviation complète exige beaucoup plus de temps. Ainsi la courbe n° 3 atteint immédiatement son maximum et s'abaisse de même Celle n° 2 progresse assez vite, s'élève ensuite plus doucement pour monter plus rapidement et atteindre son maximum au bout de cinquante secondes environ, tandis que la courbe n°1, tout en présentant la même forme, a une allure plus lente, comme l'indiquent les abscisses qui donnent quatre minutes pour l'ordonnée maxima.

Les courbes de la figure 4 correspondent à une force magnétisante inférieure de moitié à la précédente. Ici $\mathcal{H} = 1{,}2$ unités C. G. S. On voit la

différence des résultats obtenus : les maxima sont atteints beaucoup plus vite et les courants diminuent plus lentement.

Si l'on prend maintenant une force magnétisante plus élevée, $\mathcal{H} = 6$ unités C. G. S (fig. 5), les maxima sont atteints beaucoup plus tôt que pour $\mathcal{H} = 2,4$ unités ; celui fourni par la bobine n° 2 se présente au bout de 30 secondes au lieu de 50, et celui de la bobine centrale (n° 1), au bout de 130 secondes, au lieu de 240 [1].

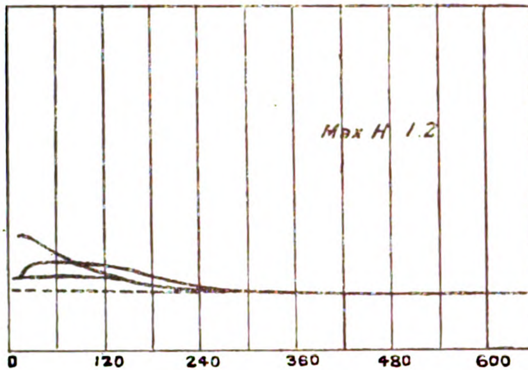


Fig. 4.

Pour une force magnétisante encore plus élevée, $\mathcal{H} = 11$ unités C. G. S. (fig. 6), la première ascension de la courbe est encore beaucoup plus marquée, et il est à noter que le maximum de la courbe n° 1 est aussi haut que celui du n° 2, tandis qu'il était toujours moindre pour des forces magnétisantes plus faibles.

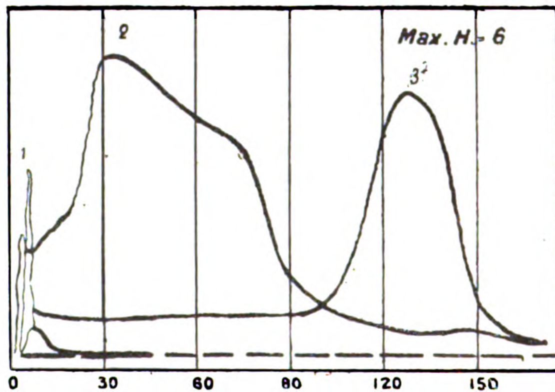


Fig. 5.

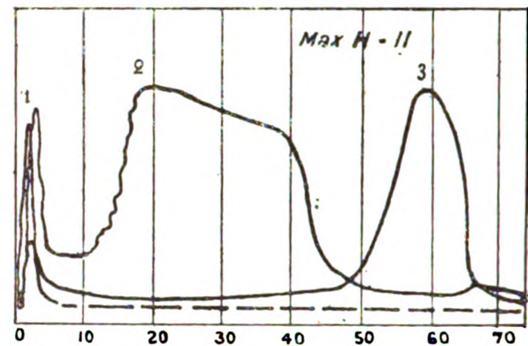


Fig. 6.

La figure 7 donne enfin les résultats fournis par la force magnétisante la plus élevée, qui ait été employée dans ces expériences, $\mathcal{H} = 24$ unités C. G. S. ; ce sont en réalité les plus intéressants. Les premiers maxima se manifestent immédiatement d'une façon très marquée. La courbe n° 2 retombe ensuite à une faible valeur, puis s'élève, au bout de 10 secondes environ, à une valeur maxima assez haute, dans le voisinage de laquelle elle se maintient pendant 10 secondes pour s'abaisser ensuite. Tandis que le n° 2 est à son maximum, le n° 1 reste à peu près sans changement, et c'est seulement quand le n° 2 s'est complètement abaissé que le n° 1 s'élève rapidement à

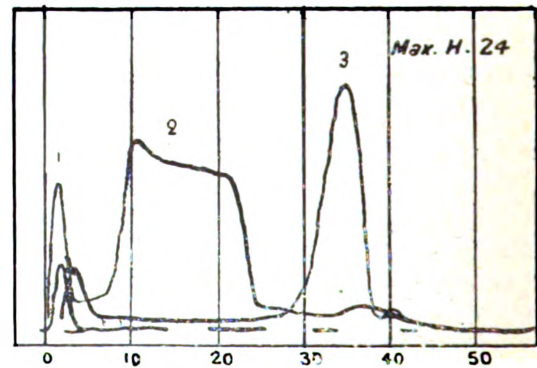


Fig. 7.

[1] Les courbes des figures 5, 6 et 7 ont été, par erreur, numérotées en sens inverse des bobines auxquelles elles correspondent. La courbe marquée 3 correspond à la bobine centrale 1 et la courbe marquée 1, à la bobine 3.

un maximum supérieur à celui du n° 2, vers 35 secondes après l'application du courant, pour retomber ensuite très brusquement.

En ce qui concerne la bobine n° 4, placée dans la partie annulaire de l'électro-aimant, l'expérience n'est indiquée que pour la force

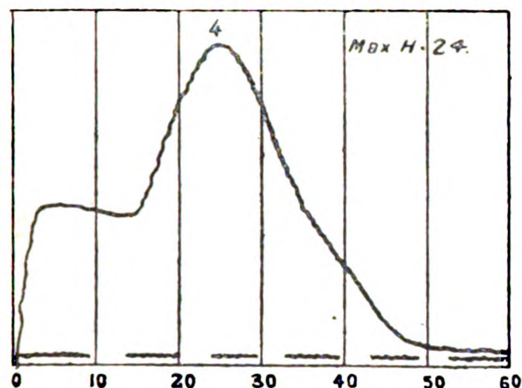


Fig. 8.

magnétisante maxima, $\mathcal{H} = 24$. L'allure des modifications est la même que précédemment, mais ici l'aimantation change immédiatement à l'intérieur de l'anneau et ultérieurement dans les parties voisines de l'extérieur, comme on le voit d'après la courbe de la figure 8.

(*A suivre.*) E. B.

La pile étain-chlorure chromique, par S. Skinner [1].

Sous le titre « une nouvelle méthode pour la transformation de la chaleur en électricité », M. Welzler décrivait, dans la *Lumière Électrique* du 7 août 1886 (t. XXI, p. 283), une nouvelle pile à étain et chlorure chromique imaginée par M. W.-E. Case.

Cette pile consiste en un vase hermétiquement fermé au fond duquel se trouve un disque horizontal de charbon recouvert de poudre d'étain, formant l'électrode négative, et relié au circuit extérieur par un fil métallique recouvert d'un isolant. Vers le haut de ce vase est suspendu un second disque de charbon placé dans une enveloppe poreuse et formant l'électrode positive de l'élément. L'électrolyte est une dissolution de sesquichlorure de chrome obtenue en chauffant ensemble un mélange d'acide chromique, d'acide chlorhydrique et d'alcool. L'élément est placé dans un vase rempli d'eau dont on peut faire varier la température.

Lorsque l'élément est à la température ordinaire, il ne se produit pas de courant, et, par conséquent, pas d'action électrolytique quand on ferme le circuit de la pile. Au contraire, lorsque la pile est portée à une température voisine de celle de l'ébullition de l'eau, il y a production d'un courant, et le sesquichlorure Cr^2Cl^6 est transformé en chlorure chromeux $CrCl^2$, tandis que l'étain, fixant l'excès de chlore, donne du chlorure stanneux $SnCl^2$. Ce courant se maintient jusqu'à transformation complète du chlorure chromique. Si alors on laisse refroidir la pile, ce chlorure se reforme et l'étain se précipite sous forme de petits cristaux miroitants, de sorte que l'élément se retrouve dans les conditions initiales. On peut donc, en faisant parcourir à l'élément un cycle fermé de température, transformer l'énergie calorifique en énergie électrique.

Dans la note que nous analysons, M. Skinner indique les résultats de ses mesures de la force électromotrice de cet élément à diverses températures. Ces mesures étaient faites soit avec un potentiomètre, soit avec un galvanomètre balistique et un condensateur. La forme des éléments différait un peu de la forme primitive indiquée par M. Case : au fond d'un tube à essais était placé soit un cylindre d'étain, soit un amalgame de ce métal ; un fil de platine scellé dans le verre, permettait de relier au circuit extérieur l'électrode négative ainsi constituée ; au haut du tube se trouvait un disque de charbon suspendu par un fil de platine traversant un bouchon fermant hermétiquement le tube. Ce tube était rempli d'une dissolution de chlorure chromique obtenue en dissolvant le chlorure violet sublimé dans l'eau en présence d'une feuille d'étain [1].

---

[1] *Philosophical Magazine*, t. XXXIX, p. 444-447, mai 1895.

[1] On sait que le sesquichlorure de chrome est très

L'emploi d'amalgame d'étain comme électrode négative présentait l'avantage de maintenir cette électrode dans les mêmes conditions physiques, ce qui n'avait pas lieu avec l'autre disposition de l'élément, l'étain se déposant sous forme de cristaux pendant le refroidissement de l'élément, cristaux moins facilement attaquables que l'étain ordinaire.

Les nombres suivants indiquent les forces électromotrices observées, les éléments ayant été laissés en repos et en circuit ouvert pendant les vingt-quatre heures précédant les expériences :

Élément n° 1 (à amalgame d'étain).

Température.	F. é. m.
15°,5C	0,44 volt
20°,5	0,45
49°,0	0,43
75°,0	0,41
93°,0	0,40
96°,0	0,40
20°,0	0,44.

Élément n° 2 (à cylindre d'étain,

Température.	F. é. m.
16°,C.	0,52 volt.
30°	0,52
97°	0,45

L'élément étant mis en circuit pendant une minute, puis remis en circuit ouvert pendant une minute, on avait :

97°C. 0,08 volt;

à la fin d'une seconde minute;

97°C. 0,11 volt;

A la fin d'une troisième minute;

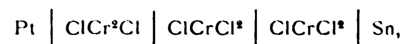
97°C. 0,11 volt.

Ces résultats ne concordent pas avec ceux qu'a indiqués M. Case [1]. D'après cet expérimentateur, la force électromotrice serait nulle à 60°F. (15°C.) et deviendrait égale à un quart de volt environ vers 200° F. (93° C.), tandis que d'après les résultats précédents, elle est d'environ 1/2 volt à toute température. M. Skinner ne peut expliquer cette discordance qu'en admettant que M. Case se servait d'un voltmètre à fil pour évaluer la force électromotrice, et, par conséquent, mesurait, non pas la force électromotrice de l'élément, mais la différence de potentiel entre ses pôles en circuit fermé. Quant à la non-production du courant à la température ordinaire de sa production vers 100° C., il l'explique par une polarisation de l'élément, qui diminue quand la température s'élève. Les résultats indiqués en dernier lieu montrent d'ailleurs que, même à la température de 97°C., cette polarisation existe et qu'elle diminue peu à peu quand l'élément est maintenu en circuit ouvert.

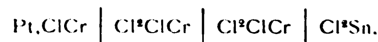
L'auteur termine sa note par les considérations suivantes :

« Quand on ajoute de l'azotate d'argent à une solution verte de chlorure chromique, les deux tiers seulement du chlore sont précipités. D'après la théorie de l' « ionisation », ce fait indique que deux atomes seulement sur trois se comportent comme ions négatifs, le dernier atome faisant probablement partie de l'ion positif. Au contraire, l'addition d'azotate d'argent à une solution de chlorure chromique portée à une température voisine de 100° précipite tout le chlore, ce qui indique qu'à cette température tous les atomes de chlore sont des ions négatifs.

« D'après cela, la chaîne de Grotthus représentant l'état de l'élément en circuit ouvert vers 15° C. doit être :



et après réunion des pôles,

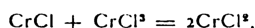


« Cette représentation montre que la polarisation est due à l'ion ClCr. Si donc un dépolarisant détruit cet ion la pile donnera un courant. L'excès de chlorure chromique pourrait remplir cette fonction en donnant du chlorure

peu soluble dans l'eau, mais qu'il se dissout très rapidement dans ce liquide en présence d'une faible quantité de chlorure chromeux ou, ce qui revient au même, en présence d'une petite quantité d'étain ou de zinc.

[1] W.-E. Case, *Proceedings of the Royal Society*, année 1886, p. 345.

chromeux, d'après la réaction,



$$CrCl + CrCl^3 = 2CrCl^2,$$

mais la manière dont se comporte l'élément montre qu'il n'en est pas ainsi en réalité.

« Une représentation analogue des phénomènes chimiques dont la pile est le siège vers 100° C. indique que la polarisation doit être attribuée à des ions de chrome. A cette température, la polarisation est moindre, et il semble que la réaction chimique



$$Cr + 2CrCl^3 = 3CrCl^2$$

se produise réellement. »

J. B.

Influence des gaz dissous sur le poids d'argent déposé dans le voltamètre par J.-E. Myers (¹).

Schuster et Crossley (²) ont trouvé que les quantités d'argent déposées dans un voltamètre croissent d'environ 0,1 p. 100 de leur valeur quand l'électrolyse s'effectue dans le le vide au lieu de s'effectuer dans l'air à la pression ordinaire de l'atmosphère. Ils attribuèrent ces petites différences à l'action de l'oxygène absorbé par la dissolution d'argent. De fait si l'électrolyse se fait au sein d'une atmosphère d'oxygène, le poids du métal déposé est encore un peu plus faible que dans l'air, toutes choses égales d'ailleurs.

M. Myers a répété ces expériences en variant les conditions. Il employait deux voltamètres, modèle Poggendorff, dont les cathodes sont formées par des creusets de platine et les anodes par des barreaux d'argent pur (dimensions des creusets : 12 cm² de surface interne ; des barreaux de 0,3 cm. diamètre. Pour éviter la chute des particules d'argent et recueillir les composés oxygénés formés à l'anode, une petite capsule de verre suspendue aux bords du creuset par trois fils de verre était placée au-dessous de l'anode. Le courant, fourni par des accumulateurs, était réglé au moyen d'un rhéostat. Les solutions étaient préparées avec du sel pur neutre au tournesol et les dépôts d'argent étaient recueillis, séchés et pesés d'après les méthodes connues.

Les deux creusets placés simultanément dans l'air donnent à quelques cent-millièmes près, le même poids de dépôt, lequel est indépendant de la densité du courant, tant que celle-ci ne dépasse pas quelques dixièmes d'ampère. Pour faire l'expérience dans le vide, l'un des voltamètres était placé sur une plaque de verre dressée et recouverte d'une cloche, la plaque était percée d'un trou conique fermé par un bouchon de paraffine, à travers lequel passaient les fils de communication. De temps à autre, on vérifiait l'isolement de la paraffine, à l'aide d'un galvanomètre très sensible placé en dérivation. Le vide était entretenu pendant plusieurs heures, à 1,6 mm. de mercure au moyen d'une trompe à eau.

Quand l'intensité du courant dépasse 0,25 amp., il se produit un violent dégagement gazeux à l'anode, avec projection de particules liquides, ce qui n'a pas lieu avec les courants plus faibles. Comme avec les faibles intensités l'expérience est de longue durée, on pouvait se demander si l'argent ne se dissolvait pas dans la solution d'azotate d'argent neutre. Des expériences *ad hoc* ont montré que cette solubilité est tout à fait négligeable.

Les poids d'argent déposés dans le vide ont été trouvés plus grands que ceux déposés dans l'air de 0,099 p. 100 avec une solution à 20 p. 100, de 0,085 p. 100 avec une solution à 40 p. 100. Avec une dissolution à 5 p. 100 les différences deviennent plus petites et irrégulières.

L'auteur a vérifié que ces différences n'étaient pas dues à une réduction produite par les vapeurs émises dans le vide par la matière ayant servi à graisser les bords de la cloche.

Dans l'azote, le dépôt est aussi un peu plus grand que dans l'air, dans l'acide carbonique il est moindre au contraire, (de 0,055 p. 100 en moyenne), bien qu'une dissolution saturée de ce gaz n'ait pas d'action appréciable sur l'argent. Quant à l'hydrogène, on n'en a pas

---

(¹) *Wied. Ann.* t. LV, p. 288-297 ; 1895.

(²) Schuster et Crossley. *Proc. Roy. Soc.* t. L, p. 344, 1892. — *La Lum. Élect.*, t. XLIV, p. 143.

encore pu préparer qui fût sans action sur l'azotate d'argent.

A l'anode on recueille un dépôt qui se dissout dans l'acide azotique avec dégagement gazeux et la solution est brun-vert. A l'analyse, ce dépôt accuse 87,3 p. 100 d'argent, ce qui correspond à très peu près à la formule Ag^2O^2.

L'auteur a essayé de déterminer l'influence de l'air dissous sur la conductibilité de l'azotate d'argent dissous : il a observé dans le vide une augmentation de conductibilité, mais ces expériences ne peuvent avoir aucune signification, le phénomène s'il existe, est masqué par l'influence de l'évaporation qui se produit dans le vide et qui augmente la concentration.

Loi de Faraday pour les courants fournis par les machines électrostatiques, par J.-E. Myers (1).

L'auteur se proposait de vérifier si la loi de Faraday s'applique aux courants fournis par les machines électrostatiques. La machine qu'il employait était une machine de Töpler à 20 plateaux, elle pouvait produire un courant de 0,3 milliampère qu'on faisait passer dans trois voltamètres disposés à la suite l'un de l'autre, l'un à azotate d'argent, le second à sulfate de cuivre et le troisième à l'eau acidulée. Ce courant était mesuré par un galvanomètre étalonné au moyen d'un élément Daniell normal et d'un rhéostat calibré. Cinq expériences en tout ont été été réalisées : l'une a manqué par suite de l'arrêt brusque du moteur ; dans une autre, par suite d'une lecture trop tardive du galvanomètre, on n'a pu que comparer les poids des divers électrolytes qui se trouvaient décomposés. Des trois expériences restantes, l'auteur conclut que la loi de Faraday est encore vraie pour les courants fournis par les machines à influence et que l'équivalent électrochimique de l'argent a encore dans ce cas la valeur trouvée par Weber.

M. L.

(1) *Wied. Ann.*, t. LV, p. 297-301 ; 1894.

CHRONIQUE

L'INDUSTRIE ÉLECTRIQUE EN FRANCE

Evreux (*Eure*). — *Éclairage.* L'affaire d'éclairage électrique public et privé à Evreux est actuellement à peu près résolue. La commission municipale chargée de l'éclairage a émis un avis favorable sur l'ensemble du cahier des charges qui lui a été soumis, et il ne lui reste plus qu'à s'entendre sur quelques points des détails indiqués par le Conseil municipal.

Le Havre. — *Distribution d'énergie électrique.* La Compagnie de l'Industrie électrique construit en ce moment un alternateur d'une puissance de 1000 chevaux qui sera destiné à subvenir à l'augmentation de consommation sur le réseau du Havre. Cette machine sera du nouveau système Thury, dans lequel ni les inducteurs, ni les induits ne sont mobiles : les variations de champ nécessaires sont créés par le déplacement de masses de fer, qui font varier convenablement la résistance magnétique. Il résulte de ce dispositif une grande sécurité pour la conservation de l'isolement et l'entretien, puisque tous les enroulements restent immobiles.

L'alternateur du Havre sera mis en mouvement par une machine Van der Kerckhove, de Gand.

Lyon. — *Inauguration de la station des Échelles.* Cette inauguration a eu lieu le 30 juin dernier.

La nouvelle station des Echelles dispose d'une puissance de 120 chevaux environ. Elle comporte deux groupes de machines : 1° groupe à courants triphasés desservant le réseau de lumière ; 2° groupe à courants continus desservant le réseau de transmission d'énergie mécanique.

Le circuit triphasé est alimenté au départ par un alternateur, système Routin, donnant directement la tension de 2000 volts. Sur les points d'utilisation la tension est ramenée à 110 volts par des transformateurs spéciaux. Le réseau à courant continu fonctionne à 300 volts.

Les machines de la station et les moteurs installés chez les particuliers sortent des ateliers de la Société industrielle d'électricité de Lyon et ont été exécutés sur les plans de M. J.-L. Routin, ingénieur de cette Société.

Le Puy (Haute-Loire). — *Éclairage.* La municipalité du Puy manifestait, il y a quelque temps, un véritable enthousiasme pour le bec Auer, qu'elle avait fait placer partout. Cet enthousiasme s'est refroidi, à en juger par les apparences. Nous apprenons en effet qu'une station électrique va être créée au centre du quartier du Breuil. Les travaux commenceront d'ici peu, et vers la fin de ce mois, cette partie de la ville pourra être éclairée.

Roubaix. — *Accident.* Le jour de la Fête nationale, le fil téléphonique qui relie le poste des pompiers à la maison de M. Hubert, commandant des sapeurs-pompiers, s'est rompu sur la Grand'Place ; il a touché le fil de « trolley » et des étincelles ont jailli jusqu'au moment où deux pompiers ont coupé le fil téléphonique.

Les suites de l'accident n'ont pas été graves. La bobine d'induction du poste des pompiers a été brûlée ; c'est à cela que se résume la chronique des « méfaits de l'électricité ».

LOI DU 25 JUIN 1895 concernant l'établissement des conducteurs d'énergie électrique autres que les conducteurs télégraphiques et téléphoniques.

ARTICLE PREMIER. — En dehors des voies publiques, les conducteurs électriques qui ne sont pas destinés à la transmission des signaux et de la parole et auxquels le décret-loi du 27 décembre 1851 n'est pas dès lors applicable, pourront être établis sans autorisation ni déclaration.

ART. 2. — Les conducteurs aériens ne pourront être établis dans une zone de 10 mètres en projection horizontale de chaque côté d'une ligne télégraphique ou téléphonique, sans entente préalable avec l'administration des postes et télégraphes.

En conséquence, tout établissement de conducteurs dans les conditions du paragraphe précédent devra faire l'objet d'une déclaration préalable adressée au préfet du département et au préfet de police dans le ressort de sa juridiction. Cette déclaration sera enregistrée à sa date et il en sera donné récépissé. Elle sera communiquée sans délai au chef du service local des postes et télégraphes et transmise par les soins de ce dernier à l'administration centrale.

Le département des postes et télégraphes devra notifier, dans un délai de trois mois à partir de la déclaration, l'acceptation du projet présenté ou les modifications qu'il réclame dans l'établissement des conducteurs aériens.

En cas de non-entente, les conducteurs aériens seront établis conformément à la décision du ministre du commerce, de l'industrie, des postes et des télégraphes et après avis du comité d'électricité visé par l'article 6 ci-dessous.

En cas d'urgence et en particulier dans le cas d'installation temporaire, le délai de trois mois prévu au troisième paragraphe de cet article pourra être abrégé.

ART. 3. — Le ministre, après avis du comité d'électricité, détermine les modifications à apporter, pour garantir les lignes, aux conducteurs existant actuellement dans la zone ci-dessus, et cela sous réserve des droits qui pourraient être acquis. Le département des postes et télégraphes avisera, dans un délai de six mois au plus à partir de la promulgation de la présente loi, les exploitants dont les conducteurs devraient être modifiés. Ceux qui font usage de ces conducteurs sont tenus de se conformer aux prescriptions ministérielles dans un délai d'un an à partir d'une mise en demeure adressée par le département des postes et des télégraphes.

ART. 4. — Aucun conducteur ne peut être établi au-dessus ou au-dessous des voies publiques sans une autorisation donnée par le préfet, sur l'avis technique des ingénieurs des postes et télégraphes, et conformément aux instructions du ministre du commerce, de l'industrie, des postes et des télégraphes.

ART. 5. — Les dispositions ci-dessus ne concernent pas les installations des conducteurs d'énergie électrique faites pour les besoins de leur exploitation par les administrations de l'Etat ou par les entreprises de services publiques soumises au contrôle de l'administration.

Les projets de ces installations électriques ainsi que toutes les modifications qui y sont apportées devront, sauf lorsqu'ils concerneront les chemins de fer et les voies navigables, être soumis à l'approbation du ministre des postes et des télégraphes, après examen en conférence par les services intéressés.

ART. 6. — Il sera formé près le ministère du commerce, de l'industrie, des postes et des télégraphes, un comité d'électricité permanent, composé, pour une moitié, de représentants profes-

sionnels des grandes industries électriques de France ou des industries faisant usage des applications de l'électricité.

Les membres de ce comité et son président seront nommés par le ministre. Le président sera choisi en dehors des membres du comité.

Le comité d'électricité donnera son avis sur les règles générales applicables dans les cas visés aux articles 4 et 5 ci-dessus et sur toutes les questions qui lui seront soumises par le ministre.

ART. 7. — Toute installation électrique devra être exploitée et entretenue de manière à n'apporter, par induction, dérivation ou autrement, aucun trouble dans les transmissions télégraphiques ou téléphoniques par les lignes préexistantes.

Lorsque l'installation exigera, dans ce but, le déplacement ou la modification des lignes télégraphiques ou téléphoniques préexistantes, le comité d'électricité sera consulté conformément aux articles 2, 3 et 6 ci-dessus. Les frais nécessités par ces déplacements ou modifications seront à la charge de l'exploitant.

ART. 8. — Quiconque aura contrevenu aux dispositions de la présente loi ou des règlements d'exécution sera, après une mise en demeure non suivie d'effet, puni des pénalités portées à l'article 2 du décret du 27 décembre 1851.

Les contraventions seront constatées, poursuivies et réprimées dans les formes déterminées par le titre 5 dudit décret.

ART. 9. — Le décret du 15 mai 1888 est abrogé.

Nouveau journal d'électrochimie. — Nous venons de recevoir le premier numéro d'un nouveau journal d'électricité, dirigé par M. Adolphe Minet, ancien directeur de l'usine d'aluminium à Saint-Michel-de-Maurienne. Titre : l'*Électrochimie*, programme : forces naturelles, Électrométallurgie, Chimie industrielle, Applications de l'Électricité, Construction mécanique, l'Aluminium et les Alliages. Le programme est vaste et la direction de M. Minet est une garantie de succès. Mais il est bien difficile de juger sur ce premier numéro de ce que ce nouveau-venu sera.

L'électricité à bord des navires japonais. — La légation du Japon, à Paris, a remis au gouvernement français une copie du rapport fait à la suite des divers combats maritimes où ont figuré des navires battant pavillon du Soleil Levant ; d'après ce rapport, l'électricité s'est, en général, bien comportée sur les bâtiments japonais ; les interruptions de courant constatées ont été causées, non, comme on l'a dit, par le recul de canons, mais par l'éclatement de quelques obus chinois. Les pièces manœuvrant à l'électricité n'ont pas eu d'arrêt.

Cependant les fils électriques employés pour les mises de feu simultanées ont été brisés par les vibrations que produit dans un navire le tir des grosses pièces.

Electrocuté par accident. — Une dépêche de New-York nous apporte la relation d'un accident intéressant par les déductions scientifiques qu'on ne manquera pas d'en tirer avec raison.

Un ouvrier électricien, nommé Rover, employé d'une compagnie de Rochester, en vérifiant une des canalisations maîtresses, a reçu une décharge que l'on évalue à 2 ou 3 000 volts, c'est-à-dire qu'elle était trois fois plus forte que celle qui sert à mettre *soi-disant* à mort les condamnés à l'électrocution.

Or, pendant trois quarts d'heure environ, la victime de cet accident peu commun a présenté toutes les apparences de la mort. De plus, des brûlures profondes se remarquaient en différents endroits du corps, notamment aux bras et aux jambes.

En un mot, Rover, paraissait *électrocuté* accidentellement, et définitivement.

Cependant, les camarades du malheureux ne perdirent pas courage, et s'obstinèrent à lui donner des soins, lesquels, habilement dirigés par un médecin que l'on avait mandé aussitôt, produisirent un résultat inespéré. La respiration se rétablit petit à petit, grâce à d'énergiques révulsifs, la circulation également, et Rover fut ainsi littéralement *ressuscité*.

On se rappelle que lorsque l'Etat de New-York le seul des Etats de l'Union où l'électrocution soit d'ailleurs en usage, établit ce mode d'exécution des condamnés à mort, on en attendait de foudroyants effets et que cette attente fut totalement déçue : lors de la première électrocution, qui fut celle de l'assassin Kemmler en juillet 1891, la mort loin d'être instantanée, fut précédée d'atroces souffrances et d'une véritable torture;

l'on dut s'y reprendre jusqu'à trois fois. Depuis, si les appareils ont été perfectionnés, l'électrocution, malgré l'apparence scientifique, est demeurée l'un des modes les plus défectueux de mise à mort qu'on ait imaginés jusqu'à ce jour. En effet, il résulte des expériences faites par les médecins immédiatement après le supplice, que la mort du condamné *n'est qu'apparente*, qu'elle ne survient qu'assez tardivement et par des lésions organiques relativement accessoires, et qu'il suffirait de soins intelligents pour *ressusciter* les suppliciés comme on a ressuscité le malheureux Rower, dont l'aventure prête à cette thèse un appui presque concluant.

Aussi, à la suite de cet accident extraordinaire, faut-il s'attendre à voir renaître l'opposition à l'électrocution, opposition qui, répétons-le, ne manque guère d'arguments scientifiques.

Chemin de fer électrique aérien. — Le Metropolitan Elevated Railway vient d'être mis à la disposition des voyageurs. C'est le premier chemin des fer aérien des Etats-Unis entièrement actionné par l'électricité.

A New-York, la Compagnie du Manhattan Elevated Railway se propose d'ailleurs de substituer l'électricité à la vapeur sur cette ligne

On se rappelle que l'Intramural de l'Exposition de Chicago avait un succès très considérable; en cinq mois il a transporté 5 800 000 voyageurs. Le nouveau métropolitain en est la suite pratique. La ligne a 27 kilomètres de longueur. Les trains sont composés de voitures automotrices et de voitures remorquées. Le courant est conduit au moteur par un frotteur touchant un troisième rail qui règne le long de la voie à l'extérieur; le retour se fait par les roues et les rails.

La vitesse moyenne sera de 24 kilomètres à l'heure y compris les arrêts d'une demi-minute aux stations se succédant tous les 600 mètres.

La nouvelle voie n'emprunte pas les rues; elle traverse directement les pâtés de maisons, dont beaucoup ont été démolies, tandis que d'autres ont été simplement transportées.

La traction électrique en Amérique. — La statistique donne, pour l'année 1894, un développement de 14 413 kilomètres pour le réseau des lignes à traction électrique dans les principales villes d'Amérique. L'augmentation est de 2 338 kilomètres sur l'année 1893. Quant au nombre de voitures en circulation, il est de 22 849, en augmentation de 5 721 sur l'année précédente. Cet accroissement aurait certainement été plus grand encore sans la crise industrielle et commerciale que les États-Unis traversent depuis deux ans.

La bicyclette et les tramways. — Il y a, paraît-il, à Deuver, dans l'État de Colorado, 10 000 bicyclettes en usage quotidien. La population totale de la ville n'est que de 110 000 habitants, en sorte que l'exploitation des tramways se ressent fortement de cette passion pour le « dada » moderne, et que les salaires des employés ont dû être diminués. Si l'on admet que chaque bicyclette économise chaque jour un voyage aller et retour en tramway, soit 10 cents (0 fr. 50), c'est une perte quotidienne pour la Compagnie, de 5 000 francs, soit plus d'un million et demi par an. A Toronto, dans le Canada, on a observé un état de choses analogue, bien que moins intense. Les tramways électriques ont fait disparaître les tramways à chevaux et font une concurrence considérable aux chemins de fer locaux Sont-ils destinés à disparaître devant la passionnante bicyclette? *Sic transit...*

Transmission électrique de l'heure à Toronto (Canada). — La Toronto Electric Light C° a installé récemment un réseau de distribution de l'heure par l'électricité; des horloges électriques sont placées partout où il est nécessaire; elles donnent l'heure exacte d'après les signaux de l'Observatoire astronomique de Toronto. L'inventeur est M. J.-J. Wright. Le prix de l'abonnement serait très bas et cette innovation a été reçue avec une faveur marquée par le public.

Nous reviendrons, s'il y a lieu, sur les détails du système.

La téléphonie en Belgique. — D'après un journal quotidien de Bruxelles, la situation financière de l'exploitation téléphonique laisserait fort à désirer; tous les réseaux seraient en déficit « tant la situation matérielle laissée par les concessionnaires a été désastreuse, assure l'Administration. »

Cela n'empêche pas l'Administration de développer son réseau.

Un réseau nouveau est en construction à Soignies; il sera rattaché au réseau de Mons et ne tardera pas à être mis en exploitation. Il y sera

fait application d'un nouveau système, inventé par un ingénieur belge, M. Carbonnelle, qui permet de n'employer aucune pile chez l'abonné. Ce système aurait donné, dans des essais à toute distance des résultats absolument satisfaisants.

Le téléphone Amsterdam-Bruxelles serait en exploitation depuis longtemps si les ingénieurs hollandais, secouant — pour une fois, savez-vous, — leur apathie naturelle, voulaient bien mettre un peu de célérité dans la construction de leur ligne.

Les contrats sont signés, les tarifs acceptés et toute la partie belge de la ligne construite; les Hollandais, eux, sont toujours occupés à la construction de l'autre partie.

Quant au téléphone entre la Belgique et l'Angleterre — dont on avait parlé il y a quelque temps — il n'en peut être question pour le moment.

Des essais ont été faits et ont donné des résultats absolument négatifs.

Utilisation de chutes d'eau en transports d'énergie, en Amérique. — Les Simonds Saw Works, ont fait installer à 3 km. 1/2 de leurs ateliers, une usine hydraulique qui utilise les eaux de la Wanoosnoc river; les moteurs sont des roues Pelton, au nombre de 6, montées sur un arbre unique; elles ont 70 cm de diamètre et, sous une hauteur de chute de 40 m. environ, fournissent ensemble 600 chevaux, à raison de 135 tours par minute. Elles entraînent directement un générateur biphasé de Westinghouse, de 300 kilowatts à 2 250 volts. A la réception, cette tension est réduite à 220 volts. Les moteurs employés sont du type Tesla, à démarrage automatique.

Voici, d'autre part, quelques détails complémentaires sur l'installation de Fresno, que nous avons déjà signalée.

L'eau de la branche nord de la rivière San Joaquin sera utilisée; elle sera conduite par un canal de 10 km. environ à un réservoir d'une capacité de 95 000 m^3 d'où elle s'écoulera par un tuyau long de 1 200 m., à l'usine située 425 m. plus bas. La nature des terrains permet d'effectuer ces travaux à un prix presque insignifiant. Le tuyau d'amenée des eaux a 60 cm. de diamètre intérieur au sommet et 50 cm. à la base; l'épaisseur des parois, en acier, est, par contre, plus grande à la partie inférieure, où elle atteint 16 mm., afin de résister à l'énorme pression de l'eau qui est de 42 1/4 kgs par cm^2. Des précautions spéciales sont prises pour éviter les accidents et les arrêts en cas de rupture des tuyaux ou du réservoir.

En raison de la grande distance à laquelle l'usine est située de Fresno (environ 53 km.), la tension de transmission sera de 11 000 volts. La ligne traversera la rivière San Joaquin à peu de distance de la station, et de là passera par la vallée de Auberry, traversera les montagnes Rouges au nord de Dry Creek; elle passera à environ 1 mille à l'Ouest de Clovis et ensuite suivra la grande route pour atteindre Fresno.

La puissance utilisable dans cette ville serait, d'après les plans actuels, de 900 chevaux.

Cette puissance est peu en rapport avec l'importance des travaux à effectuer et de la longueur de la ligne à installer, et il nous semble que l'opération sera difficilement rémunératrice.

Halage électrique dans les mines. — L'*Industrie électrique* décrit une intéressante installation de halage électrique qui fonctionne parfaitement depuis deux ans déjà dans l'exploitation de la « Pittsburg and Lake Angeline Iron Company ». Cette installation comporte deux locomotives électriques pourvues chacune de deux moteurs. Ces locomotives peuvent développer un effet de traction de 680 kilogrammes chacune à une vitesse de 10 à 12 kilomètres à l'heure. La voie est à l'écartement de 762 millimètres. La longueur du halage est un peu courte pour un bon service de locomotives, la distance variant de 180 à 500 mètres. La rampe est de 6 p. 1 000 en faveur des wagons chargés, et les courbes sont brusques, s'abaissant à 4 mètres de rayon. Dans ces conditions de travail, le coût du halage s'élève à 10 centimes par tonne, huile, pertes et réparations incluses. Ce prix comprend encore le transport des poutres pour le boisage, mais non l'amortissement du capital d'installation.

La téléphonie en Suisse. — Le prix de l'abonnement au téléphone, primitivement fixé à 150 francs par an pour les communications urbaines, plus 25 francs pour les communications interurbaines, vient d'être fixé à 40 francs par an, tout compris.

L'Éditeur-Gérant : GEORGES CARRÉ.

Paris. — Imprimerie L. MARETHEUX, 1, rue Cassette.

Tome IV. Samedi 10 Août 1895. 2e Année. — N° 32

L'Éclairage Électrique

REVUE HEBDOMADAIRE D'ÉLECTRICITÉ

DIRECTEUR SCIENTIFIQUE : J. BLONDIN

SECRÉTAIRE DE LA RÉDACTION : G. PELLISSIER

QUELQUES PROPRIÉTÉS GÉNÉRALES DES CHAMPS MAGNÉTIQUES TOURNANTS

Bien que la construction des moteurs à champ tournant se soit complètement modifiée depuis l'admirable découverte de Ferraris, la routine fait que l'on continue dans tous les Traités à présenter ces moteurs comme une simple application de l'expérience du savant professeur de Turin; on y parle de cadres rectangulaires, ou de pôles à angle droit, de composition de forces suivant la règle du parallélogramme, tout comme si ces organes et ces phénomènes existaient réellement dans les moteurs industriels. On oublie ainsi que ceux-ci sont formés de cylindres en fer avec un entrefer extrêmement faible et des bobinages répartis uniformément le long de cet entrefer; comment les néophytes auxquels on explique de la sorte le principe des machines pourraient-ils s'en faire une idée claire, puisque dans les appareils qu'on leur présente ensuite ils ne voient plus ni cadres, ni forces dirigées?

Il est donc nécessaire, je crois, de traiter l'expérience de Ferraris et la théorie des moteurs par des procédés différents. Le champ tournant de Ferraris se produit dans l'air, dans des conditions très simples, et la règle de la composition des forces lui est rigoureusement applicable; la théorie en est aujourd'hui parfaite, elle a été établie par M. Sahulka et par M. Ferraris lui-même, qui a donné dans un récent mémoire [1] une belle synthèse des propriétés des champs alternatifs et tournants suivant cette manière de voir.

Au contraire, le champ tournant des moteurs asynchrones se produit dans l'entrefer de deux cylindres; il n'y a plus là de forces qui se composent, et si on peut appliquer la règle du parallélogramme c'est en vertu d'hypothèses et de considérations *absolument différentes*.

La confusion entre ces deux ordres d'idées, confusion qui est générale, comme je l'ai dit, ne peut que donner des idées fausses et faire concevoir de fâcheux préjugés; on en a un exemple dans le fait qu'on a prétendu tirer des conclusions pratiques des expériences de Du Bois Reymond qui ne pouvaient en avoir.

Je me propose de donner ici un exposé rapide et sans aucune prétention des propriétés générales des champs tournants pratiques dans le cas des moteurs multipolaires, (les moteurs bipolaires étant un cas assez rare et susceptible de donner des idées fausses).

Pour bien distinguer mon point de vue de celui de M. Ferraris, je ne ferai pas appel à la considération des vecteurs, bien que j'aie développé quelques-unes de leurs propriétés préci-

[1] Un metodo per la trattazione dei vettori rotanti od alternativi da Galileo Ferraris, Turin, décembre 1894. Ce mémoire a été analysé d'une façon fort intéressante par M. F. Guilbert dans la *Lumière Electrique*, mars 1894.

sément à la même époque que celui-ci. Je m'efforcerai surtout de montrer comment on peut calculer les ampères-tours utiles et les effets d'un enroulement mono ou polyphasé, question que la plupart des auteurs ont laissé à leurs lecteurs le soin de débrouiller ou sur laquelle ils ont donné des formules inexactes.

I. — Production des champs tournants.

Première notion d'un champ tournant parfait. — La façon la plus simple de se représenter la production d'un champ tournant par des courants polyphasés, est de supposer

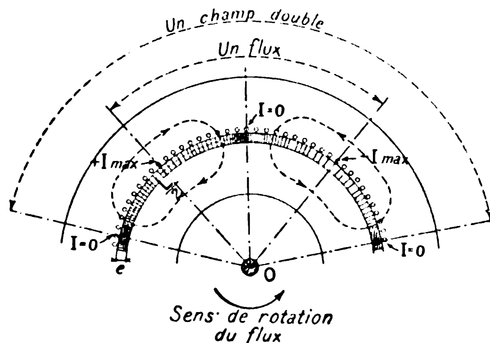


Fig. 1. — Principe d'un champ tournant parfait.

tout d'abord qu'on a affaire à une infinité de courants polyphasés sinusoïdaux, de phases infiniment voisines alimentant dans chaque champ double [1] une série de fils placés près de l'entrefer e (fig. 1). Le courant dans le premier fil du champ sera par exemple $I_0 \sin \frac{2\pi}{T} t$, dans le second $I_0 \sin \left(2\pi \frac{t}{T} + \varepsilon\right)$, dans le troisième $I_0 \sin \left(2\pi \frac{t}{T} + 2\varepsilon\right)$, etc..., et de même dans les champs suivants; dans l'entrefer il se produira ainsi une série de flux alternativement positifs et négatifs dont les maxima auront lieu au droit des spires où $I = 0$. Je désignerai par L la largeur d'un champ double et $\frac{L}{2}$ celle d'un flux.

Pendant une période T, le courant devient successivement nul dans chacun des fils à tour de rôle; le zéro se déplace donc; mais à chaque instant la répartition des courants dans les divers fils autour de ce zéro se reproduit identiquement la même. Le flux produit reste donc toujours semblable à lui-même mais tourne en même temps que le zéro. Il parcourt la distance entre deux zéros, c'est-à-dire la largeur d'un flux, pendant la durée d'une alternance des courants; si dans le moteur il y a p champs tournants, c'est-à-dire $2p$ flux alternativement positifs et négatifs, la vitesse de rotation de ces flux dans l'espace est donc

$$\alpha = \frac{1}{p} \frac{2\pi}{T}$$

et leur vitesse de translation dans l'entrefer

$$V = \frac{L}{T}.$$

Propriétés des champs tournants parfaits. — Les champs tournants qu'on vient de définir sont des champs tournants parfaits, parce qu'ils restent toujours identiques et tournant à vitesse constante; mais l'enroulement qui les produit est un enroulement idéal, non réalisable en pratique. Avant de passer aux enroulements réels, il est nécessaire d'indiquer quelques propriétés de ces champs dans le cas où ils sont produits par des courants sinusoïdaux.

1° Si l'on admet que la perméabilité des noyaux de fer est constante dans tout le noyau primaire et dans tout le noyau secondaire, constante aussi dans chaque couronne qui contient les perforations, on démontre aisément, comme je l'ai indiqué précédemment [1], que le flux dans l'entrefer traverse normalement celui-ci et y est réparti suivant la loi sinusoïdale, c'est-à-dire que l'induction dans cet entrefer varie en chaque point en

[1] Un *champ* double comprend par définition la section du flux dans l'entrefer à l'aller et au retour; il y a donc dans un champ un flux positif et un flux négatif.
L'épaisseur e de l'entrefer est très exagérée sur la figure 1 pour la rendre lisible.

[1] *Lumière Électrique*, 10 février 1894, p. 261.

fonction de l'angle au centre δ suivant la loi

$$\mathfrak{B} = \mathfrak{B}_o \sin (p\delta - \varphi),$$

φ dépendant de l'origine choisie.

Nous appellerons un semblable flux *flux sinusoïdal.* Si on développe la circonférence moyenne de l'entrefer du moteur suivant une droite OX (fig. 2), les flux tournants seront représentés par une sinusoïde dont les abscisses représenteront les longueurs comptées sur la circonférence et les ordonnées les valeurs de l'induction $\mathfrak{B}$

$$\mathfrak{B} = \mathfrak{B}_o \cos 2\pi \left(x - \frac{l_o}{L}\right),$$

en appelant L la longueur totale occupée par les deux flux d'un champ et l_o l'abscisse du point A où l'induction est maxima.

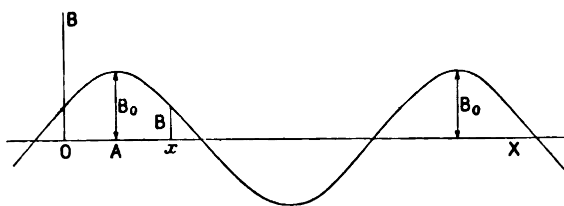


Fig. 2. — Développement d'un champ tournant sinusoïdal.

L'aire d'une boucle de la sinusoïde est proportionnelle au flux Φ d'un des champs. En appelant b la longueur du moteur suivant l'axe

$$\Phi = \frac{2}{\pi}\ \mathfrak{B}_o b\ \frac{L}{2};$$

2° Lorsque, dans un même moteur, il y a deux séries de champs différentes produites par des courants de même phase, le champ qui résulte de leur superposition peut se déduire des précédents en grandeur et phase par la règle de composition applicable à toutes les fonctions sinusoïdales en général et donnée par Fresnel au commencement du siècle.

Soit $\mathfrak{B}'$ l'induction du second flux :

$$\mathfrak{B}' = \mathfrak{B}'_o \cos 2\pi \left(x - \frac{l'_o}{L}\right).$$

L'induction résultante aura pour amplitude

$$\mathfrak{B}_o'' = \sqrt{\mathfrak{B}_o^2 + \mathfrak{B}_o'^2 + 2\mathfrak{B}\,\mathfrak{B}_o' \cos 2\pi \frac{l_o - l'_o}{L}}$$

et l'origine du flux résultant sera décalée de la longueur l''_o à partir de l'origine en posant :

$$\operatorname{tg} \frac{2\pi}{L} l''_o = - \frac{\mathfrak{B}_o \cos 2\pi \frac{l_o}{L} + \mathfrak{B}'_o \cos 2\pi \frac{l'_o}{L}}{\mathfrak{B}_o \sin 2\pi \frac{l_o}{L} + \mathfrak{B}_o' \sin 2\pi \frac{l'_o}{L}}$$

Grandeur et phase du flux résultant peuvent donc se déduire de celles des flux composants par la règle du parallélogramme, et on peut traiter les flux comme des vecteurs quelconques en les représentant chacun par une longueur proportionnelle à l'induction maxima et ayant pour phase $\frac{l_o}{L}$. C'est ainsi que se trouve justifiée la représentation des flux par des vecteurs et nullement, comme on le dit trop souvent, par des analogies plus ou moins inexactes des forces magnétomotrices avec des forces mécaniques : on n'applique pas la règle du parallélogramme des forces, mais la *règle de Fresnel.*

3° Si on prend pour origine des x dans l'espace la position de l'induction *maxima*, le flux tournant peut être défini à la fois dans le temps et dans l'espace par une équation algébrique unique telle qu'un temps écoulé se traduise par un déplacement correspondant de l'axe du flux, c'est-à-dire

$$\mathfrak{B} = \mathfrak{B}_o \cos 2\pi \left(\frac{x}{L} + \frac{t}{T}\right).$$

C'est cette formule qui nous servira dans la suite. On remarquera que le même flux supposé fixe et alternatif se traduit par l'équation toute différente

$$\mathfrak{B} = \mathfrak{B}_o \cos 2\pi \frac{x}{L} \cos 2\pi \frac{t}{T},$$

qui exprime la variation de l'induction également dans le temps et dans l'espace.

Champs tournants pratiques. — En pratique, les champs tournants ne peuvent être obtenus qu'à l'aide d'un petit nombre de courants de phases différentes, 2, 3 ou 4 au plus [1].

[1] Les enroulements plus compliqués reposant sur la bissection des phases, imaginée par M. von Dolivo-

et les fils, au lieu d'être répartis uniformément le long de l'entrefer, sont logés *par paquets* dans des encoches ou perforations; chaque enroulement comprenant une ou plusieurs paires d'encoches (l'une des encoches de chaque paire est située dans le flux positif, l'autre au même rang dans le flux négatif). Ces encoches, comme on le sait, sont de forme ronde, carrée ou ovale (fig. 3) et sont fendues dans certains cas sur une faible largeur du côté de l'entrefer.

Dans tout ce qui suivra, nous désignerons par n le nombre de fils contenus dans une paire d'encoches.

Le long de l'entrefer, le potentiel magnétique dû aux enroulements excitateurs varie par

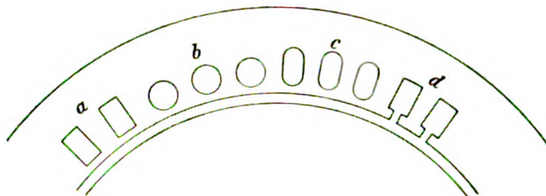


Fig. 3. — Divers types d'encoches.

petits bonds successifs en augmentant de la quantité

$$2\pi ni,$$

au passage d'une encoche contenant $\frac{n}{2}$ fils parcourus par un courant actuel i. Le champ produit dans l'entrefer par ces enroulements peut s'écarter beaucoup du champ théorique.

Nous distinguerons deux cas dans l'étude de ces champs suivant qu'on les produit en présence d'un circuit secondaire à spires ouvertes ou fermées.

Dans le premier cas, le flux dans les différentes phases présente des aspects peu différents de ceux qu'on obtiendrait en alimentant, suivant la méthode de Du Bois Reymond, les divers circuits par des courants continus correspondant aux valeurs instantanées des courants alternatifs; nous dirons que le champ est *statique*.

Dans le second cas, au contraire, les courants induits dans le secondaire réagissent sur le flux primaire, et nous dirons que le flux est *dynamique*. Examinons ces deux cas séparément.

1° *Flux statique*. — Il est facile de se rendre compte de la répartition du flux dans l'entrefer en négligeant l'effet des inégalités de per-

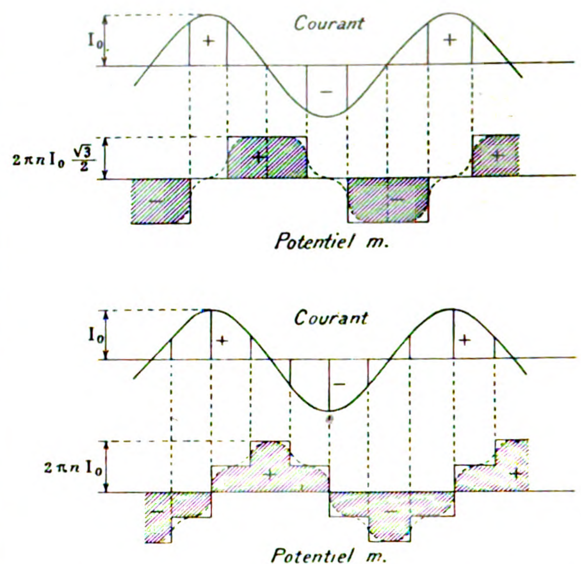


Fig. 4 et 5. — Répartition de l'intensité du courant et du potentiel magnétique le long de l'entrefer d'un moteur triphasé à six encoches et $\frac{n}{2}$ fils par encoche.

méabilité du fer des noyaux sur la distribution des lignes de force et admettant que l'induction varie proportionnellement au potentiel magnétique. Mais comme la répartition et les valeurs de cette induction peuvent changer beaucoup suivant l'époque considérée, on est obligé de considérer en particulier divers cas caractérisés par la phase absolue de l'un des courants.

Prenons, par exemple, le champ d'un moteur triphasé à 6 encoches par champ (une paire d'encoches pour chacun des trois courants). Soit N le nombre total de fils le long d'un champ d'entrefer; chaque encoche contiendra

Dobrovolsky, sont abandonnés définitivement à cause de leur complication que ne justifiait pas le résultat peu marqué obtenu.

$\frac{N}{6}$ fils, et la distance entre les axes des encoches est $\frac{L}{6}$. Nous les supposerons fendues pour conserver plus nettement le caractère des variations du potentiel. Les figures 4 et 5 représenteront les variations de ce potentiel dans deux cas : le premier est celui où l'intensité du courant est zéro dans l'une des phases, les courants des deux autres bobines étant alors :

$$+ I_0 \frac{\sqrt{3}}{2} \quad \text{et} \quad - I_0 \frac{\sqrt{3}}{2}.$$

Les ordonnées maxima ont pour valeurs

$$\pm 2\pi \frac{N}{3} I_0 \frac{\sqrt{3}}{2},$$

et l'on voit aisément que le potentiel *moyen* pour la largeur d'un flux est

$$2\pi \frac{NI_0}{2} \frac{2\sqrt{3}}{9}.$$

Tout se passe donc, pour la production du flux, comme s'il était excité par une bobine unique à courants continus de largeur $\frac{L}{2}$ comprenant

$$\left(\frac{N}{2} I_0\right) \frac{2\sqrt{3}}{9} = 0{,}385 \left(\frac{N}{2} I_0\right) \quad \text{ampères-tours.}$$

La figure 5 se rapporte à l'état des mêmes circuits au bout de 1/12 de période, les trois courant sont alors égaux respectivement à $\frac{I_0}{2}$, I_0, $\frac{I_0}{2}$; le potentiel magnétique varie suivant une autre loi, et sa valeur moyenne pour la largeur d'un flux est

$$\pi \frac{N}{2} I_0 \frac{4}{9}.$$

L'ensemble des trois enroulements équivaut donc cette fois à

$$\left(\frac{4}{9} \frac{N}{2} I_0\right) = 0{,}444 \left(\frac{N}{2} I_0\right)$$

On trouverait de même que dans un système de courants diphasés à quatre encoches la répartition des intensités et des potentiels est représentée par les figures 6 et 7 suivant que le premier courant a la phase absolue o ou $\frac{\pi}{2}$. Le nombre des ampères-tours équivalents à l'enroulement varie de $0{,}50 \frac{N}{2} I_0$ à $0{,}35 \frac{N}{2} I_0$, N désignant toujours le nombre de fils *total* pour un champ.

En réalité, les escaliers des courbes seront arrondis en pratique comme l'indique le tracé pointillé des figures et disparaîtront même complètement si les encoches ne sont pas fendues; mais les nombres d'ampères-tours ne seront pas modifiés pour autant.

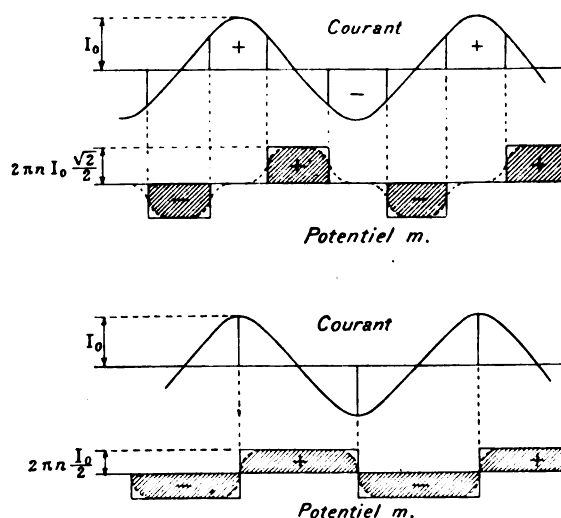


Fig. 6 et 7. — Mêmes courbes pour un moteur diphasé.

Il est intéressant de comparer ces nombres à celui qu'on obtiendrait dans le cas de l'enroulement idéal donnant le flux sinusoïdal. Soit toujours N le nombre total de fils, le potentiel produit par l'un d'eux peut s'écrire

$$4\pi I_0 \cos 2\pi \frac{x}{L}.$$

Le potentiel effectif au point x est donc

$$4\pi I_0 \int_0^x \cos 2\pi \frac{x}{L} \left(\frac{N dx}{L}\right) = 2NI_0 \sin 2\pi \frac{x}{L},$$

et le potentiel moyen a, par suite, pour valeur

$$\frac{2}{\pi} 2NI_0 = 2\pi \frac{N}{2} I_0 \left(\frac{4}{\pi^2}\right).$$

Les ampères-tours équivalents sont donc

$$\frac{4}{\pi^2}\frac{N}{2}I_0 = 0{,}405\left(\frac{N}{2}I_0\right).$$

Si l'on compare ce chiffre au chiffre moyen du triphasé 0,414 et au chiffre moyen du diphasé 0,426, on serait tenté de croire que le meilleur enroulement est ce dernier et que le triphasé est inférieur au diphasé. Mais cette conclusion n'est valable qu'au point de vue du champ statique et on va voir qu'elle serait erronée au point de vue des champs dynamiques, seuls intéressants en pratique.

Il faut remarquer d'ailleurs qu'on arriverait

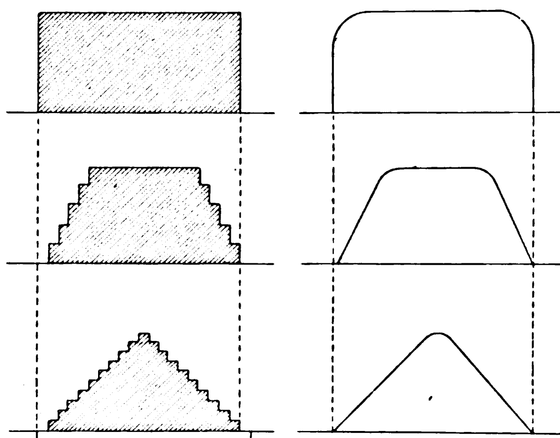


Fig. 8, 9, 10. — Schéma des répartitions du potentiel magnétique obtenues avec un même nombre d'ampères-tours répartis en une, cinq ou dix bobines par flux.

Fig. 11. — Courbes arrondies pratiques correspondantes.

à un résultat différent si chaque phase comprenait plusieurs paires d'encoches au lieu de deux. En effet, les bobines de deux paires d'encoches voisines chevauchent et les variations du potentiel s'en trouvent beaucoup adoucies.

Les figures 8, 9 et 10 montrent schématiquement les lois de variations du potentiel magnétique qu'on obtiendrait avec le même nombre total de fils N dans l'entrefer, le long d'un enroulement parcouru par un courant continu, suivant que ces fils sont répartis en une seule bobine, en cinq bobines ou en dix bobines chevauchantes; la figure 11 montre les mêmes formes arrondies et pour ainsi dire estompées par la diffusion des lignes de force. On voit que, dans les deux derniers cas, le nombre de bobines est suffisant pour que la répartition s'écarte peu de la loi sinusoïdale; la composition de plusieurs flux fixes alternatifs de ce genre alimentés par des courants polyphasés pourra donc donner un flux tournant statique plus voisin du flux parfait que les précédents.

2° *Flux dynamique.* — Les barres ou spires secondaires qui sont *fermées en court circuit* dans tous les moteurs sont le siège de courants d'autant plus intenses que la fréquence de la force électromotrice qui les produit sont plus grandes. Or, comme on va le voir, les flux tournants imparfaits peuvent toujours être considérés comme résultant de la superposition d'un flux tournant parfait avec des harmoniques, plus ou moins nombreuses et importantes. Les courants induits dans le secondaire par les harmoniques seront donc d'autant plus intenses que l'ordre de celles-ci est plus élevé, et comme ils produisent des flux sensiblement opposés aux flux parasites qui leur donnent naissance, il les étoufferont presque complètement.

L'effet de la présence des circuits secondaires est donc d'*épurer le champ tournant* et de ramener le flux qui traverse le noyau secondaire à jouir presque complètement des propriétés d'un flux tournant parfait sinusoïdal et se déplaçant avec une vitesse constante. On ne peut raisonner sur les flux dynamiques qu'en tenant compte de ces phénomènes, et on va voir que les résultats sont très simples.

Décomposition d'un flux alternatif en flux tournants. — Notre point de départ sera le théorème bien connu de M. Leblanc [1] analogue au théorème d'optique sur la polari-

[1] *Lumière Électrique*, octobre 1890. M. Ferraris a indiqué de nouveau récemment (*loc. cit.*) ce théorème qu'il semble avoir retrouvé sans connaître l'antériorité de M. Leblanc,

sation rotatoire et qu'on peut énoncer comme il suit :

Tout flux alternatif sinusoïdal fixe peut être considéré comme équivalent à deux flux tournants également sinusoïdaux, ayant des vitesses de rotation égales et inverses et des amplitudes égales à la moitié du flux alternatif résultant.

Cette propriété n'est que la traduction d'une identité algébrique. En effet, on a vu tout à l'heure qu'un champ sinusoïdal tournant rapporté à son axe a pour expression

$$\mathfrak{B} = \mathfrak{B}_0 \cos 2\pi \left(\frac{x}{L} + \frac{t}{T}\right),$$

et un champ sinusoïdal alternatif rapporté également à son axe

$$\mathfrak{B} = \mathfrak{B}_0 \cos 2\pi \frac{x}{L} \cos 2\pi \frac{t}{T}.$$

Or, on a identiquement

$$\mathfrak{B}_0 \cos 2\pi \frac{x}{L} \cos 2\pi \frac{t}{T} = \frac{\mathfrak{B}_0}{2} \cos 2\pi \left(\frac{x}{L} + \frac{t}{T}\right) + \frac{\mathfrak{B}_0}{2} \cos 2\pi \left(\frac{x}{L} - \frac{t}{T}\right).$$

Le champ tournant sinusoïdal est donc bien égal à la somme de deux champs tournant en sens inverse avec une vitesse de translation $V = \frac{L}{T}$ telle qu'ils parcourent la longueur d'un champ double en une période. Le vecteur fixe du champ alternatif peut donc bien être remplacé sur les diagrammes polaires par deux vecteurs de longueur moitié moindre tournant en sens inverse avec les vitesses $\Omega = \pm \frac{2\pi}{T}$.

Je compléterai ce théorème par la considération des *harmoniques*, dans le cas général où le flux fixe alternatif n'est pas sinusoïdal dans l'espace (tout en variant sinusoïdalement avec le temps). On peut alors le représenter par une série de Fourier, de la forme

$$\mathfrak{B} = \Sigma B_n \cos 2\pi \left(\frac{nx}{4} + \frac{t}{T}\right).$$

Chaque harmonique de cette série peut être décomposée encore en deux flux tournants d'amplitude $\frac{B_n}{2}$; mais la longueur occupée par le champ d'ordre n étant seulement $\frac{L}{n}$, la vitesse de translation des deux flux tournants correspondants est seulement $\frac{V}{n}$, V désignant la vitesse de translation du flux principal correspondant à la première harmonique. On peut donc dire que *tout flux alternatif est équivalent à une série de paires de flux tournants harmoniques dont les vitesses de translation dans l'entrefer sont inversement proportionnelles à leur numéro d'ordre dans la série.*

Obtention des flux tournants à l'aide de flux alternatifs. — Cela posé, il est facile d'expliquer sous une forme très générale le mécanisme de la production des flux tournants dynamiques.

1° *Flux alternatifs sinusoïdaux.* — Prenons d'abord le cas le plus simple, celui où les flux alternatifs fixes sont simplement sinusoïdaux, condition qu'on pourrait réaliser au besoin par l'emploi des enroulements sinusoïdaux (décrits dans mon premier mémoire cité plus haut).

Si l'on n'emploie qu'un seul flux alternatif, il donne naissance à deux flux tournants inverses; pour les ramener à un seul qui tourne dans le sens utile, il n'y a pas d'autre moyen que d'étouffer l'autre champ, qui joue le rôle d'un parasite nuisible, par des courants induits antagonistes; c'est l'effet que produisent spontanément les circuits secondaires à spires fermées des moteurs monophasés lorsqu'ils tournent à une vitesse voisine du synchronisme. M. Potier a démontré d'une autre façon fort élégante [1] que le champ d'un semblable moteur se rapproche beaucoup d'un champ circulaire. La décomposition en deux champs tournants rend cette propriété évidente; elle a de plus l'avantage de montrer que le circuit secondaire ne contribue pas *à créer le champ tournant* utile, mais a seulement pour rôle de détruire le champ tournant parasite, ce qui est tout différent. En tout cas,

[1] *Bulletin de la Soc. Intern. des Electriciens.*

cette destruction est toujours incomplète et n'est obtenue qu'au prix d'une dépense d'énergie.

Lorsqu'on emploie plusieurs flux alternatifs de même phase (dans le temps), les champs tournants positifs et négatifs se composeront respectivement entre eux suivant la règle du parallélogramme, et il ne restera finalement que deux champs inverses et égaux, dont l'un pourra être encore étouffé comme ci-dessus.

Les choses se passent tout autrement lorsque les courants alternatifs employés sont polyphasés et leurs bobines convenablement

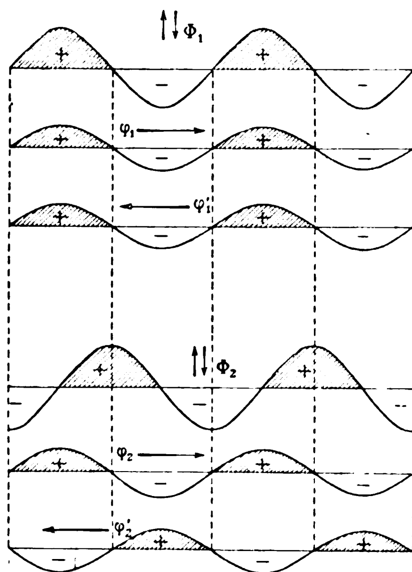


Fig. 12. — Schéma de l'obtention d'un flux tournant par composition de deux flux alternatifs diphasés fixes.

réparties. On peut en effet s'arranger alors de façon que les flux parasites tournant dans le mauvais sens *s'annulent les uns les autres*, tandis que les flux tournant dans le bon sens s'ajoutent [1]. Prenons comme exemple un système diphasé simple : la première série de bobines donne dans l'entrefer une série de flux alternatifs fixes Φ_1 (fig. 12) qui à une époque quelconque ($t = 0$ pour simplifier), se décomposent en deux flux tournants φ_1 et φ'_1 d'amplitude moitié moindre et dont les sens de translation sont représentés par les flèches; la deuxième série de bobines, décalées d'un quart d'une longueur de flux par rapport à la première, donne les flux alternatifs Φ_2 équivalant aussi à deux flux tournants φ_2 et φ'_2 d'amplitudes moitié moindres. Mais le courant qui produit ces flux est décalé de $\frac{\pi}{2}$ par rapport au premier, de sorte que les flux tournants sont décalés de $\frac{L}{4}$, l'un à droite, l'autre à gauche de Φ_2; le flux φ_2 vient ainsi en concordance avec φ_1, tandis que φ'_2 est opposé à φ_2 et le détruit.

Plus généralement dans un système q-phasé, les q champs tournants $\frac{\Phi}{2}$ s'ajoutent, tandis que les q champs $\frac{\Phi}{2}$ tournant dans l'autre sens se détruisent; c'est pourquoi le champ tournant résultant a pour valeur $\frac{q}{2}\Phi$ comme on le sait.

2° *Flux alternatifs quelconques.* — Lorsque les forces magnétomotrices composantes ne sont pas réparties sinusoïdalement mais affectent cependant toutes la même distribution, comme c'est le cas dans les moteurs, le flux que produirait chacune d'elles varie le long de l'entrefer suivant une loi périodique qu'on peut mettre sous la forme générale

$$\mathfrak{B} = B_1 \sin 2\pi\left(\frac{x}{L} + \frac{t}{T} - \varphi_1\right)$$
$$+ \ldots\ldots B_n \sin 2\pi\left(\frac{x}{L} + \frac{t}{T} = \varphi_n\right),$$

et il est équivalent d'après ce qui précède à la somme des flux alternatifs suivants :

1er flux,	amplitude	$\frac{B}{2}$,	largeur	$\frac{L}{2}$,	vitesse de translation		$V = \frac{L}{T}$
2e	»	» $\frac{B_2}{2}$	»	$\frac{L}{4}$	»	»	$\frac{V}{2}$
»	»	»	»		»	»	»
$n^{ième}$	»	» $\frac{B_n}{n}$	»	$\frac{L}{2n}$	»	»	$\frac{V}{n}$

Pour avoir l'effet résultant des flux analogues produits par les circuits polyphasés

(1) La condition générale très simplement exposée par M. Ferraris (*loc. cit.*) est que les vecteurs des flux alternatifs divisent en parties égales un angle total de 2π.

d'un même moteur, il faudra combiner les harmoniques de même ordre de tous les flux en tenant compte de leur décalage de phase dans le temps et l'espace de la manière suivante :

Moteur triphasé équilibré. — Les trois flux supposés symétriques seront définis dans le temps et l'espace par les trois équations :

$$\mathfrak{B} = B_1 \sin 2\pi \left(\frac{L}{x} + \frac{t}{T} - \varphi_1\right)$$
$$+ \ldots\ldots + B_n \sin 2\pi \left(\frac{x}{L} + \frac{T}{t} - \varphi_n\right),$$

$$\mathfrak{B}' = B_1 \sin 2\pi \left(\frac{L}{x} + \frac{t}{T} - \frac{1}{6} - \varphi_1\right)$$
$$\ldots\ldots + B_n \sin 2\pi \left(\frac{x}{\frac{L}{n}} + \frac{t}{T} - \frac{1}{6} - \varphi_n\right),$$

$$\mathfrak{B}'' = B_1 \sin 2\pi \left(\frac{x}{L} + \frac{t}{T} - \frac{1}{3} - \varphi_1\right)$$
$$\ldots\ldots + B_n \sin 2\pi \left(\frac{x}{\frac{L}{n}} + \frac{t}{T} - \frac{1}{3} - \varphi_n\right).$$

En combinant ensemble les champs tournants de même vitesse, on trouve que les

TABLEAU I.

INDICE du flux tournant	AMPLITUDE	SENS de rotation	DÉCALAGE	VITESSE de translation
1	$\frac{3}{2}B_1$	+	φ_1	$+V = \frac{L}{T}$
3	$\frac{1}{2}B_3$	+	φ_3	$+\frac{V}{3}$
	$\frac{1}{2}B_3$	—	φ_3	$-\frac{V}{3}$
5	0	.....	.....	0
7	$\frac{3}{2}B_7$	+	φ_7	$+\frac{1}{7}V$
9	$\frac{1}{2}B_9$	+	φ_9	$+\frac{1}{9}V$
	$\frac{1}{2}B_9$	—	φ_9	$-\frac{1}{9}V$
11	0	.....	....	0
13	$\frac{3}{2}B_{13}$	+	φ_{13}	$+\frac{1}{13}V$
etc.				

termes dont l'indice est un multiple de 3 augmenté du nombre 2 donnent des champs nuls; les termes dont l'indice est un multiple de trois, plus le nombre 1, donnant un champ tournant nul dans le sens négatif, et un champ tournant d'amplitude 3/2 B dans le sens positif; enfin les termes dont l'indice est un multiple de 3 donnent deux champs tournants égaux (équivalents par leur réunion à un champ alternatif fixe).

On obtient ainsi le tableau I, qui résume les flux résultants d'après leurs indices.

Tous les flux tournants, sauf le premier, ont un effet nuisible dans les moteurs parce que leur vitesse est très faible à côté de celle de l'armature (qui en régime normal diffère peu de V) et dont ils tendent, par suite, à *retarder la marche*, au lieu de la favoriser, même lorsqu'ils tournent dans le même sens.

Moteur diphasé. — Les deux flux sont définis dans le temps et l'espace par

$$\mathfrak{B} = B_1 \sin 2\pi \left(\frac{x}{L} + \frac{t}{T} - \varphi_1\right)$$
$$+ \ldots\ldots + B_n \sin 2\pi \left(\frac{x}{\frac{L}{n}} + \frac{t}{T} - \varphi_n\right),$$

$$\mathfrak{B}' = B_1 \sin 2\pi \left(\frac{x}{L} + \frac{t}{T} - \frac{1}{4} - \varphi_1\right)$$
$$+ \ldots\ldots + B_n \sin 2\pi \left(\frac{x}{\frac{L}{n}} + \frac{t}{T} - \frac{1}{4} - \varphi_n\right).$$

On voit aisément que les flux de rang 1, 5, 9, etc. $(4n + 1)$, donnent, en se combinant, un seul flux tournant dans le sens positif et ayant même amplitude que les flux fixes composants ; tandis que les termes de rang 3, 7, 11, $(2n + 1)$, donnent des flux résultants tournant en sens inverse. On a ainsi le tableau suivant des flux résultants. (Voy. plus loin.)

Toutes les vitesses, sauf la première, étant inférieures à celle de l'armature, on voit que tous les flux harmoniques tendent encore à produire un couple opposé à celui du flux principal.

La valeur relative de ces couples parasites dépend des coefficients B des harmoniques. Ceux-ci sont naturellement faibles, et, grâce à la grande différence relative des vitesses, les courants induits par ces flux parasites sont assez intenses pour les étouffer presque com-

plètement, et réduire par conséquent tous les termes supérieurs à de très faibles valeurs.

Pratiquement, dans tous les moteurs polyphasés le flux tournant, ainsi *épuré* et ramené à une distribution presque sinusoïdale, aura

TABLEAU II.

INDICE du flux	AMPLITUDE	SENS de rotation	DÉCALAGE	VITESSE
1	B_1	+	φ_1	$+ V = \frac{L}{T}$
3	B_3	—	φ_3	$-\frac{V}{3}$
5	B_5	+	φ_5	$+\frac{V}{5}$
7	B_7	—	φ_7	$-\frac{V}{7}$
9	B_9	+	φ_9	$+\frac{V}{9}$
11	B_{11}	—	φ_{11}	$-\frac{V}{11}$
13	B_{13}	+	φ_{13}	$+\frac{V}{13}$
etc.				

même valeur principale que si les flux composants étaient réduits à leur première harmonique dans l'espace, et ce résultat est indépendant du nombre de phases.

Applications pratiques de cette théorie. En pratique, on peut toujours prendre comme

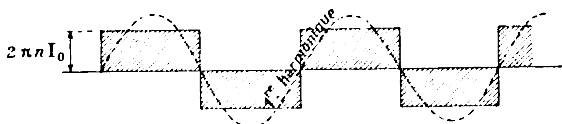


Fig. 13. — Répartition théorique du flux produit par une seule bobine à n fils totaux et 2 encoches.

flux alternatifs composants les flux fictifs produits par des enroulements occupant une seule paire d'encoches. L'induction correspondante reste constante le long de l'entrefer sur toute l'étendue d'un flux, et la courbe représentative (fig. 13) est constituée par une série de rectangles de longueur $\frac{L}{2}$ et de hauteur alternativement $\pm B_o$, B_o étant l'induction maxima produite par le courant maximum I_o, c'est-à-dire par une force magnétomotrice

$$4\pi \frac{n}{2} I_o.$$

Les coefficients de la série de Fourier ont, dans ce cas, pour valeur, d'après des résultats connus

$$B_1 = \frac{4}{\pi} \mathfrak{B}_o, \quad B_3 = \frac{4}{\pi} \frac{\mathfrak{B}_o}{3}, \quad B_5 = \frac{4}{\pi} \frac{\mathfrak{B}_o}{5}, \quad \text{etc.}$$

et toutes les phases $\varphi_1\ \varphi_2$... sont égales.

Il est facile d'en déduire la valeur relative des divers harmoniques dans les exemples ci-dessus.

Quel que soit le nombre des phases q, le flux tournant correspondant à la première harmonique a pour induction maxima

$$\mathfrak{B}_1 = \frac{q}{2} \frac{4}{\pi} \mathfrak{B}_o = \frac{2q}{\pi} \mathfrak{B}_o.$$

Le flux n° 3 donne

$$\frac{1}{3} \frac{2q}{\pi} \mathfrak{B}_o,$$

et le n° 5

$$\frac{1}{5} \frac{2q}{\pi} \mathfrak{B}_o.$$

Il est en général inutile d'aller plus loin dans la série.

Dans ces limites on constate que les systèmes diphasés et monophasés présentent tous deux le même harmonique nuisible, flux inverse n° 3, et ont en outre l'un un flux direct n° 3, l'autre un flux direct numéro 5 qui tournent plus lentement que le secondaire, sauf au démarrage ; le premier est plus désavantageux que le second parce que le couple inverse est plus fort pour le n° 3 que pour le n° 5.

Dans toute la théorie des moteurs on peut se contenter d'étudier l'effet du flux n° 1, que nous appellerons pour ce motif le *flux principal.*

Voyons avec plus de détails quelles lois régissent la production de ce flux.

1° Dans le cas où chaque phase n'occupe qu'une paire d'encoches, la force magnétomotrice employée pour produire l'induction

maxima $\mathcal{B}_0$ étant $2\pi n I_0$, celle qui est nécessaire pour fournir $\mathcal{B}_1$ est

$$q \frac{2}{\pi}(2\pi n I_0) = \frac{2}{\pi} 2\pi N I_0,$$

N désignant le nombre total des fils des q phases produisant un champ tournant et n le nombre de fils d'une paire d'encoches.

La distribution du flux étant sinusoïdale, la force magnétomotrice correspondant à l'induction *moyenne* dans l'entrefer est $\frac{2}{\pi}$ du maximum précédent, c'est-à-dire

$$\left(\frac{2}{\pi}\right)^2 2\pi N I_0.$$

On en conclut immédiatement que, quel que soit le nombre de phases, les ampères-tours équivalents [1] à un enroulement polyphasé à N fils pour la production du flux principal sont

$$\left(\frac{2}{\pi}\right)^2 N I_0.$$

tout comme pour l'enroulement idéal. Celui-ci n'est d'ailleurs qu'un cas limite de celui que nous considérons ici.

2° Dans le cas où chaque phase occupe plus d'une paire d'encoches, le *chevauchement* des divers champs élémentaires les uns sur les autres réduit la valeur du flux résultant et par suite, la valeur des ampères-tours équivalents. Si une phase comprend par exemple m paires d'encoches décalées de la longueur l d'une paire à l'autre, le flux résultant s'obtiendra en composant m vecteurs, égaux chacun au flux Φ que produirait l'une des paires d'encoches seule et décalés entre eux d'angles égaux à $2\pi \frac{l}{L}$. En le divisant par la somme $m\Phi$ on obtient le coefficient de réduction k par lequel il faut multiplier les ampères-tours totaux des encoches pour tenir compte de leur subdivision en groupes non coïncidents; le nombre

(1) J'ai défini plus haut comme *ampères-tours équivalents*, les ampères-tours d'une bobine unique embrassant la largeur d'un flux et capable de faire passer dans la même réluctance le même *flux total* avec *une induction uniforme*, au lieu de l'induction sinusoïdale.

des ampères-tours correspondants à l'enroulement sera alors

$$k \left(\frac{2}{\pi}\right)^2 N I_0$$

au lieu de

$$\left(\frac{2}{\pi}\right)^2 N I_0.$$

Par exemple, dans un enroulement diphasé à 12 encoches comprenant N fils par champ, on aura 2 bobines à 3 paires d'encoches chacune contenant $\frac{N}{12}$ spires chacune, et donnant une force magnétomotrice maxima

$$\mathcal{F}_0 = 4\pi \frac{N}{12} I_0.$$

Les forces magnétomotrices des trois bobines étant décalées entre elles de $\frac{1}{12}$ période, la force magnétomotrice aura pour maximum

$$\mathcal{F}_0 \cos\frac{\pi}{6} + \mathcal{F}_0 + \mathcal{F}_0 \cos\frac{\pi}{6} = \left(1 + \sqrt{3}\right)\mathcal{F}_0,$$

au lieu de $3\mathcal{F}_0$ qu'on obtiendrait avec des bobines coïncidentes. Le coefficient de réduction k a donc pour valeur

$$k = \frac{1 + \sqrt{3}}{3} = 0{,}911.$$

On trouve de même les valeurs de k pour toutes les combinaisons de la pratique. Pour éviter aux lecteurs ces calculs, j'en ai résumé les résultats principaux dans le petit tableau suivant qui s'applique seulement au cas où chaque encoche ne reçoit les fils que d'une seule phase [1].

On verra plus loin l'usage de ce tableau pour le calcul des flux.

Champ tournant des moteurs monophasés. — Si l'on considère seulement le champ tournant utile, produit par un courant monophasé, il est facile d'avoir l'expression des ampères-tours équivalents au circuit inducteur

(1) Dans le cas peu avantageux où l'on disposerait les enroulements des diverses phases en couches continues et superposées, les chiffres à adopter pour chaque phase seraient ceux relatifs aux enroulements monophasés.

par le même procédé de calcul. L'expression reste la même que plus haut pour chaque champ dû à une paire d'encoches et la composition des champs qui chevauchent se fait de la même manière. On trouve ainsi des coefficients de réduction k relatifs aux moteurs mo-

TABLEAU III.

NOMBRE d'encoches par champ double.	VALEURS DE k		
	en triphasé.	en diphasé.	en monophasé.
2	»	»	1,000
4	»	1,000	0,707
6	1,000	»	0,666
8	»	0,924	0,653
10	»	»	0,647
12	0,966	0,911	0,643
14	»	»	0,642
16	»	0,906	0,641
18	0,960	»	0,640
20	»	0,904	0,639
24	0,958	0,903	0,638
∞	0,953	0,900	0,637

nophasés dans lesquels l'enroulement est réparti uniformément sur toute la périphérie de l'entrefer.

On voit que, à nombre égal d'encoches, le coefficient k est plus faible pour le diphasé que pour le triphasé, et plus faible encore pour le monophasé [1].

Pour produire la même force m. m. avec 12 encoches par exemple, contenant un même nombre de fils, il faudrait des courants d'intensité.

I pour le courant triphasé,
1,06 I — — diphasé.
1,50 I — — monophasé.

On dit souvent cependant que le courant monophasé nécessaire pour produire un même champ que des courants diphasés, doit avoir une intensité double de celle des courants diphasés (sans parler de la dispersion qu'on étudiera plus loin) ; cela est vrai seulement lorsqu'on supprime, dans un moteur diphasé, l'un des enroulements diphasés en conservant l'autre [1], et il est évident qu'en supprimant ainsi la moitié des ampères-tours on est obligé de les retrouver ailleurs. Mais si l'on compare des moteurs construits convenablement, de façon à utiliser chacun tous les fils, les courants seront, comme pour l'exemple ci-dessus, dans le rapport inverse des valeurs k; la comparaison est alors beaucoup moins défavorable au monophasé.

Champ tournant des moteurs polyphasés non équilibrés. — Dans le cas où, pour un motif quelconque, les courants magnétisants polyphasés qui produisent les flux alternatifs ne sont pas égaux, les flux tournants principaux, tournant dans le sens utile, s'ajoutent encore tous exactement; mais le flux tournant en sens inverse ne s'annulant plus rigoureusement, ils donnent lieu à un flux résultant qui peut être annulé seulement par l'effet du secondaire, comme dans les moteurs monophasés.

Par exemple, si on a deux flux diphasés inégaux

$$\mathfrak{B} = \mathfrak{B}_1 \sin 2\pi \left(\frac{x}{L} + \frac{t}{T}\right) + \text{etc.....}$$

$$\mathfrak{B}' = \mathfrak{B}_1' \sin 2\pi \left(\frac{x}{L} + \frac{t}{T} + \frac{1}{4}\right) + \dots..$$

Le flux tournant principal utile aura pour amplitude

$$\frac{1}{2}\mathfrak{B}_1 + \frac{1}{2}\mathfrak{B}_1',$$

et il y aura en outre un flux parasite inverse d'amplitude

$$\frac{1}{2}\mathfrak{B}_1 - \frac{1}{2}\mathfrak{B}_1'.$$

On aurait des expressions analogues pour les champs d'ordre supérieur.

Dans le cas des flux triphasés inégaux on trouverait de même :

Flux utile $\frac{1}{2}(\mathfrak{B}_1 + \mathfrak{B}_1' + \mathfrak{B}_1''),$

Flux parasite inverse $\frac{1}{2}\left(\mathfrak{B}_1 - \frac{\mathfrak{B}_1' + \mathfrak{B}_1''}{2}\right).$

[1] C'est pourquoi il vaut mieux, pour les moteurs polyphasés, répartir les enroulements des différentes phases dans un certain nombre d'encoches spéciales à chaque enroulement discontinu, plutôt que de superposer dans chaque encoche des couches successives uniformes décalées de l'angle convenable.

[1] Cela serait vrai également si les enroulement diphasés étaient des enroulements tous deux continus et superposés comme dans les anciennes machines de M. Leblanc ou de Haselwander.

Mais il est très important de remarquer que ce cas se présente peu dans la pratique, même lorsque les voltages des diverses branches d'un réseau sont inégaux, car les courants magnétisants toujours décalés de $\frac{\pi}{2}$ par rapport aux f.é.m. induites s'en trouvent peu modifiés; les inégalités de courants produites portent presque exclusivement sur la composante du courant qui est en phase avec la f.é.m. Lors même que cette composante s'annulerait ou changerait de sens, le caractère du champ tournant polyphasé, c'est-à-dire l'annulation spontanée du champ inverse, est presque intégralement conservé.

En particulier, dans l'ingénieux système « monocyclique » qui a fait une si bruyante entrée dans le monde, il y a quelques mois à peine, les enroulements sont réglés de façon que le courant de travail soit nul dans toutes les phases sauf une seule, de sorte que l'énergie est absorbée sous forme pulsatoire; mais le champ tournant reste produit, en charge comme au démarrage, par des composantes magnétisantes *polyphasées;* c'est donc à tort je crois, que l'on refuserait à cet ingénieux système une place dans la classe des moteurs polyphasés, où elle me paraît toute marquée, sans préjudice des dispositions originales qui peuvent le différencier de ses prédécesseurs. On reviendra plus tard sur cette question.

Influence de la forme de l'onde des courants sur les champs tournants. — On a supposé dans ce qui précède que la force magnétomotrice variait suivant une loi sinusoïdale, mais, en pratique, il peut en être tout autrement. M. Scott a appelé tout récemment l'attention sur l'influence de la troisième harmonique, et ce sujet me paraît demander quelques remarques plus complètes.

Pour simplifier, supposons la répartition du flux dans l'entrefer réduite à une forme sinusoïdale, c'est-à-dire occupons-nous seulement du flux principal des développements précédents. Nous aurons à représenter les flux par de nouvelles séries de Fourier ordonnées par rapport aux périodes de temps (¹), suivant la forme

$$\mathfrak{B} = \mathfrak{B}_1 \sin 2\pi\left(\frac{t}{T} + \frac{x}{L} - \varphi_1\right) + \ldots + \mathfrak{B}_n \sin 2\pi\left(\frac{nt}{T} + \frac{x}{L} - \varphi_n\right).$$

Un flux alternatif ainsi défini peut être considéré comme résultant de la superposition d'une série de flux simples ayant respectivement les amplitudes

$$\mathfrak{B}_1, \mathfrak{B}_2, \ldots . \mathfrak{B}_n \ldots$$

Ceux-ci donneront lieu à deux séries de flux tournants ayant pour amplitudes

$$\frac{1}{2}\mathfrak{B}_1, \frac{1}{2}\mathfrak{B}_2 \text{ etc.}$$

et pour viteses de translation

$$V, 2V, \ldots\ldots nV$$

correspondant à des vitesses de pulsation

$$\Omega, 2\Omega, \ldots\ldots n\Omega,$$

Dans un moteur monophasé, chacun de ces flux donne lieu à des actions sur le secondaire qu'il est aisé d'étudier individuellement. Tous les flux tournant dans le sens positif tendent à faire tourner le moteur; les autres, au contraire, à le ralentir.

Dans le cas des moteurs diphasés ou triphasés, il est bon de composer entre eux les divers champs harmoniques de même rang, de même qu'on l'a fait pour l'étude de la répartition des champs. On trouvera ainsi évidemment les mêmes coefficients, les viteses seules des flux étant changées (elles sont données par la formule Vn au lieu de $\frac{V}{n}$) on peut donc avoir immédiatement les résultats dans le tableau suivant, en supposant la répartition des flux sinusoïdale.

De ce tableau ressort une petite supériorité pour le triphasé, car il n'a pas de 5ᵉ flux, et sa 3ᵉ harmonique est *proportionnellement* plus faible; dans cette 3ᵉ harmonique il remplace la

(¹) Dans le cas général où l'on voudrait tenir compte de la répartition non sinusoïdale, il faudrait employer un développement en série de séries.

moitié du flux négatif $\mathfrak{B}_3$ du diphasé par un flux positif $\frac{1}{2}\mathfrak{B}_3$, mais celui-ci n'a qu'un faible rendement, 30 p. 100, parce qu'il tourne trop vite; il en est de même pour le 5ᵉ flux $\frac{3}{2}\mathfrak{B}_5$. La su-

Tableau IV.

Indice du flux tournant	Décalage	En courants triphasés		En courants diphasés	
		vitesse	amplitude	vitesse	amplitude
1	φ_1	$+V$	$\frac{3}{2}\mathfrak{B}_1$	$+V$	$\mathfrak{B}_1$
3	φ_3	$\begin{cases}+3V\\-3V\end{cases}$	$\frac{1}{2}\mathfrak{B}_3$ / $\frac{1}{2}\mathfrak{B}_3$	$-3V$	$\mathfrak{B}_3$
5	φ_5	0	0	$+5V$	$\mathfrak{B}_5$
7	φ_7	$+7V$	$\frac{3}{2}\mathfrak{B}_7$	$-7V$	$\mathfrak{B}_7$
9	φ_9	$\begin{cases}+9V\\-9V\end{cases}$	$\frac{1}{2}\mathfrak{B}_9$ / $\frac{1}{2}\mathfrak{B}_9$	$+9V$	$\mathfrak{B}_9$
11	φ_{11}	0	0	$-11V$	$\mathfrak{B}_{11}$
13	φ_{13}	$+13V$	$\frac{3}{2}\mathfrak{B}_{13}$	$+13V$	$\mathfrak{B}_{13}$
etc.					

périorité du triphasé n'est donc pas aussi considérable à ce point de vue qu'on pourrait le croire *a priori*, mais il y a lieu, cependant, d'en tenir compte si l'on a affaire à des courants d'alimentation où la 3ᵉ harmonique soit très importante. On voit en tout cas combien il est avantageux d'employer des courants se rapprochant autant que possible de la sinusoïde. Ce n'est pas là une conclusion purement théorique, car M. Scott a démontré expérimentalement que le rendement peut se trouver notablement abaissé dans le cas où l'on s'écarte trop de cette courbe.

Je n'insisterai pas davantage sur les autres applications qu'on peut faire de la décomposition en série; les lecteurs les trouveront facilement eux-mêmes et je passerai immédiatement à l'exposé de la méthode de calcul que les considérations précédentes permettent d'établir.

(*A suivre.*) André Blondel.

LE CHEMIN DE FER MÉTROPOLITAIN DE CHICAGO

Si l'on excepte la ligne expérimentale qui faisait le service intérieur de l'exposition universelle à Chicago, en 1893, la ligne qui vient d'être récemment inaugurée est la première, en Amérique, qui soit complètement exploitée par l'électricité. Il est certain qu'elle ne sera pas la dernière; déjà, en effet, nous est parvenu le bruit que la Compagnie des chemins de fer élevés de New-York, voulait aussi substituer la traction électrique à la traction à vapeur, et les autres Compagnies ne tarderont pas à imiter cet exemple si, comme tout le fait prévoir, les résultats obtenus en exploitation industrielle sont aussi favorables qu'on l'espère.

Dès les débuts des applications industrielles de l'électricité à la traction, on reconnut les avantages qu'elle présentait pour ce genre de service : absence de fumée, d'étincelles, d'escarbilles, diminution du bruit, douceur de roulement, ce qui est d'une importance considérable sur des lignes élevées, passant au milieu des rues, auprès des habitations et au-dessus de la foule. Enfin, la grande élasticité du moteur électrique qui permet à un moment donné d'écouler rapidement une grande affluence de voyageurs, et l'économie de l'exploitation militent en faveur de l'électricité. Un des ingénieurs de la Compagnie du South Side Rapid Transit, de Chicago, disait à ce propos, en 1893 :

« Du charbon dur qui coûte à la Compagnie environ 30 francs par tonne est employé avec les locomotives; aussi, le compte « charbon » s'élève-t-il chaque mois, à des chiffres qui sont hors de proportion avec les bénéfices de la Compagnie. Les tramways funiculaires emploient des poussières de charbon qui coûtent de 6 à 8,25 fr. la tonne. La puissance calorifique du charbon dur est certainement plus grande que celle du poussier, mais la diffé-

rence est loin de compenser l'excès de prix.

« Une autre cause de dépenses exagérées avec les locomotives, provient de la nécessité où l'on se trouve de démarrer avec une grande rapidité en raison du grand nombre d'arrêts que le service exige. Cela a conduit à employer des moteurs compound, dans lesquels la vapeur peut être admise à pleine pression dans les deux cylindres, au moment du démarrage. Lorsque la vitesse de régime est atteinte, le mécanicien devrait supprimer l'admission dans le grand cylindre, où la vapeur d'échappement du petit cylindre, viendrait alors se détendre comme à l'ordinaire. Cette disposition est, en théorie, très économique ; mais en pratique, il n'en est rien, car les mécaniciens conservent l'admission à pleine pression dans les deux cylindres pendant tout le parcours, et les locomotives compound arrivent à consommer plus de vapeur que des locomotives ordinaires.

« L'emploi de locomotives électriques per-

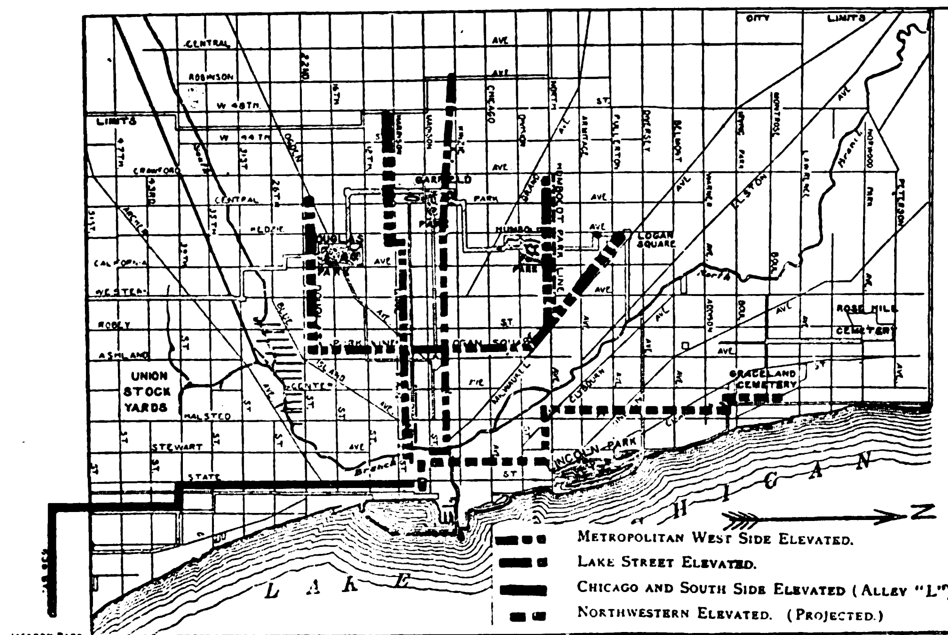


Fig. 1. — Plan de Chicago, donnant le tracé des chemins de fer métropolitains.

mettrait de réduire beaucoup la main-d'œuvre : il n'y aurait plus de chauffeur sur chaque locomotive, le salaire d'un mécanicien électricien est moindre que celui d'un mécanicien de locomotive à vapeur ; le nettoyage si considérable avec ces dernières et les réparations seraient beaucoup diminués ».

Ce sont des considérations analogues qui ont entraîné l'adoption de l'électricité, sur la nouvelle ligne.

La ligne de la Metropolitan West Side Elevated a été projetée en 1892, par M. A.-F. Walcot, de New-York; l'exploitation devait se faire d'abord avec des locomotives à vapeur de 40 tonnes. La West Side Construction Company fut organisée avec un capital de 15 millions de francs; cent mille obligations furent émises ensuite, à 450 francs. Le capital ainsi réalisé, soit 60 millions de francs était amplement suffisant pour les constructions et pour l'achat du terrain sur lesquels elles s'élèvent ; la ligne est, en effet, entièrement construite sur les propriétés de la Compagnie, qui ont coûté plus de 325 millions de francs et ont nécessité de nombreux et importants transports de maisons.

Comme on peut le voir par le tracé de la

figure 1, la Metropolitan Company exploitera un réseau important de lignes électriques dans les quartiers ouest de Chicago. La station de départ sera située dans Franklin Street, à l'est de la rivière, entre Jackson et Van Buren Streets, c'est-à-dire à une distance de plus d'un demi-kilomètre du centre de la ville, ce qui nuit à la prospérité des affaires de la Compagnie. Mais il est probable que d'ici peu une boucle sera construite qui reliera les stations terminus des différentes Compagnies de chemins de fer métropolitains entre elles, pour la plus grande commodité du public et le plus grand profit des Compagnies.

Lorsque tous les branchements seront construits, le développement total des lignes sera de près de 30 kilomètres. La ligne principale a 3 kilomètres de longueur, les embranchements de Garfield Park, 6,8 km.; de Douglas Park, 6 km.; de Logan Square, 7,2 km.; de Humboldt Park, 3,5 km. La ligne principale, qui va de la station terminus jusqu'au point de croisement des autres branchements, est à 4 voies. Tous les trains, quelle que soit leur direction, suivront cette ligne sur toute sa longueur. Il y aura 5 stations sur la ligne principale, 3 sur l'embranchement de Garfield Park, 11 sur celui de Douglas Park, 9 sur celui de Logan Square, et enfin 5 celui de Humboldt Park; en tout 43 stations dans la construction desquelles ont été introduits tous les perfectionnements que l'expérience a suggérés pour le confort et la commodité des voyageurs.

Le viaduc est en acier. La voie est construite avec des rails à T de 45 kg. par mètre linéaire; ces rails sont cloués sur les traverses et sont reliés électriquement, près de leur milieu, à l'infrastructure métallique.

Le conducteur, ou rail à trôlet, consiste en un rail à T du poids linéaire de 22 1/2 kgs par mètre courant, qui est placé sur un des côtés de la voie et est légèrement élevé au-dessus des contre-rails de sûreté en bois, comme le représente la figure 3, où le rail de contact est représenté sur la gauche, ainsi que le sabot de contact que nous décrirons plus loin. Ce conducteur est supporté par des cubes de pin de Géorgie, préalablement paraffinés, et placés tous les 1 m. 50. Ce sont les seuls isolateurs. Aux courbes et aux aiguillages, le conducteur

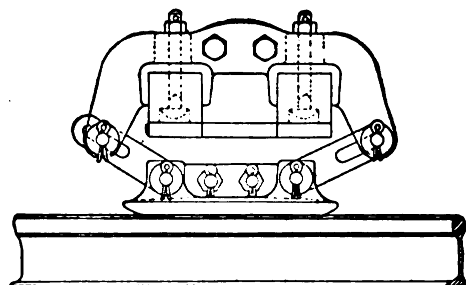


Fig. 2. — Sabot de contact. Vue latérale.

de contact est placé soit d'un côté de la voie, soit de l'autre, suivant la commodité de l'exploitation. Les rails à trôlet sont éclissés et reliés entre eux par trois courtes bandes de cuivre. Au lieu d'employer, comme à l'Exposition, deux rails, un comme feeder, l'autre

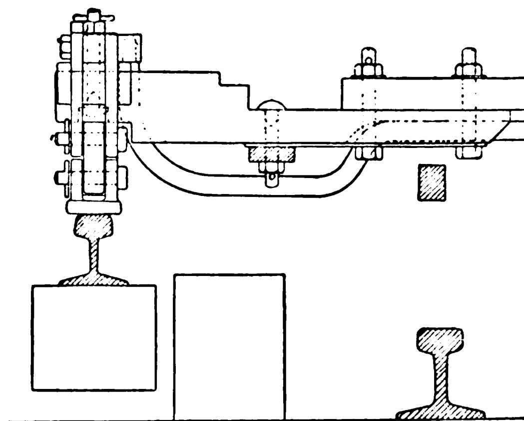


Fig. 3. — Sabot de contact. Coupe transversale.

comme rail de contact, on n'a employé qu'un rail de contact, l'alimentation étant faite par de forts câbles.

Le matériel roulant comprendra 55 voitures motrices et 100 wagons ordinaires.

Les premiers diffèrent à plusieurs points de

vue des voitures ordinairement employées sur les métropolitains. La figure 4, en représente le plan. Comme on voit, ils sont symétriques par rapport à leur axe transversal. Les extrémités sont pourvues de plaques et de montants en fer afin d'éviter que les wagons ne télescopent en cas de collision. Il y a deux cabines pour le mécanicien, une à chaque extrémité, et dans des coins diagonalement opposés; elles empiètent sur les plates-formes. Cette construction force à reporter les portes sur les côtés et comme les portes à coulisse ont été adoptées, elles sont repoussées à l'intérieur de la cabine. Cette disposition ne gêne pas le mécanicien, car la porte d'avant est toujours fermée.

Lorsque l'exploitation sera en pleine activité, chaque voiture motrice remorquera 5 voitures de mêmes dimensions. L'effort de traction sera donc considérable. Afin que la carcasse puisse résister à ces efforts et que, aussi, l'adhérence soit assez grande, on n'a pas cherché à réduire le poids de ces voitures motrices comme c'est la coutume dans la construction des elevated.

Le poids de la voiture, sans l'équipement électrique est de 18 000 kgs environ; la longueur du coffre, de porte en porte, est de 12,20 m.; la longueur totale, y compris les plates-formes est de 14,40 m. La largeur est de 2,60 m.; la hauteur, des rails au sommet de la



Fig. 4. — Plan des wagons moteurs du métropolitain électrique de Chicago.

toiture, est de 3,90 m. Quarante personnes peuvent y trouver place assises.

Les voitures sont éclairées à l'électricité avec un grand nombre de lampes à incandescence, qui sont placées le long des parois, en bordure du plafond, de façon à projeter directement leur lumière sur les sièges, elles sont branchées sur trois circuits indépendants afin qu'on puisse en allumer ou en éteindre à volonté une partie seulement.

Le chauffage se fera au moyen de radiateurs électriques du modèle de la Central Electric Heating Company et disposés de façon que la température puisse être maintenue à peu près constante.

L'air comprimé nécessaire pour actionner les freins est contenu dans un réservoir placé en dessous de chaque voiture et qui est rempli dans une station centrale convenablement située.

Les wagons remorqués sont du type ordinaire de Pullmann; ils n'offrent rien de particulier. Ils ont des dimensions semblables à celles des voitures motrices, mais diffèrent sensiblement comme aménagement intérieur. Ils peuvent recevoir 48 personnes assises.

La première voiture, dans chaque train est motrice. Les moteurs sont du type G. E. 2000, c'est-à-dire qu'ils peuvent exercer, à une vitesse de 20 milles (32 kms) à l'heure un effort horizontal de 2000 lbs (908 kgs) à la périphérie d'une roue de 33 pouces (84 cm) de diamètre. Leur puissance normale est de 100 chevaux; ils peuvent cependant fournir sans danger une puissance de 150 chevaux pendant de courtes périodes, comme par exemple, au moment du démarrage.

La vitesse maxima à laquelle les trains doivent pouvoir marcher est de 56 à 64 kms à l'heure, en palier et en alignement droit.

Ces moteurs sont à simple réduction ; ils ont 84 cm. de hauteur et 127 cm. de largeur, y compris les engrenages. La carcasse des inducteurs est en acier; l'enroulement est du type tambour en série; chaque conducteur ne forme qu'un seul tour et est fixé dans des fentes à la périphérie du noyau; les réparations sont ainsi rendues très faciles. Ces moteurs sont complètement fermés et sont ainsi à l'abri de la poussière et de l'humidité. Deux ouvertures, fermées par des portes du côté du commutateur, donnent un libre accès à l'intérieur, et le moteur peut être facilement inspecté soit d'en haut, soit d'en bas.

Chaque voiture est montée sur deux boggies ; à l'heure actuelle un des axes seulement de chacun des deux boggies est muni d'un moteur; mais lorsque le développement du trafic le rendra nécessaire, deux nouveaux moteurs seront placés sur chaque voiture motrice afin de doubler la puissance et l'adhérence.

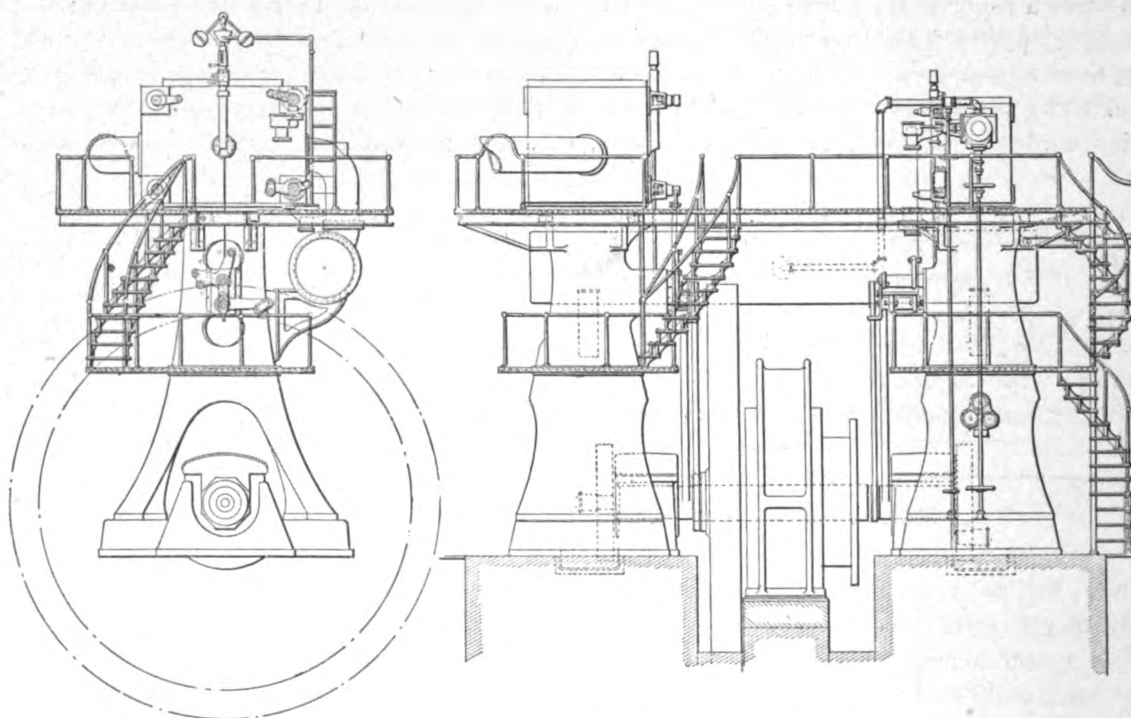


Fig. 5 et 6. — Groupe générateur. Vue en bout et vue latérale.

L'équipement électrique de chaque voiture est double, afin que la marche en avant puisse être commandée de l'une ou l'autre cabine des mécaniciens.

Les moteurs sont protégés par un coupe-circuit automatique qui les isole si le courant devient trop intense.

Les contrôleurs sont placés dans les logettes des mécaniciens ainsi que les appareils de manœuvre des freins, des appareils de chauffage et d'éclairage. Une des logettes contient un moteur électrique de 3 chevaux qui actionne, au moyen d'un engrenage à simple réduction, une petite pompe à air pour la mise en opération des freins qui sont du type de la New-York Air Brake Company.

Le contrôleur est semblable à ceux qu'on emploie pour les voitures de tramways, mais de plus grandes dimensions, afin de s'appliquer au service plus dur qu'il aura à effectuer. Il peut grouper les moteurs soit en tension, soit en quantité et, dans chaque cas, modifier la résistance du circuit.

Si le démarrage doit être fait très rapidement, ce qui est le cas pour une exploitation de ce genre, la poignée du contrôleur est amenée immédiatement dans la position où les moteurs sont placés en dérivation, à pleine vitesse. Si le démarrage doit être moins rapide, le contrôleur permet de grouper d'abord les moteurs de façon que la vitesse soit moitié moindre, avant de les grouper en dérivation, à pleine vitesse.

Des dispositions particulières ont été prises pour répartir aussi également que possible la charge entre les deux moteurs, ce qui présente une importance particulière pour la traction.

Un commutateur inverseur, qui permet de renverser le sens de la marche est placé auprès du contrôleur; il est muni d'un dispositif d'encliquetage de sûreté qui en rend la manœuvre impossible tant que la poignée du contrôleur n'est pas dans la position convenable. On évite ainsi les accidents qui se produiraient si les moteurs venaient à être brusquement renversés en pleine marche. Afin d'éviter les arcs destructeurs qui pourraient se produire, des extincteurs électromagnétiques sont placés partout où s'effectuent les ruptures de contact.

Le système de transmission et de prise de courant est analogue à celui qui était employé sur l'Intramural de Chicago, et sur le chemin de fer élevé de Liverpool. Nous le rappellerons en quelques mots.

La prise de courant se fait sur le troisième rail par un sabot de contact, (fig. 2 et 3), qui est fixé à une poutre en chêne projetant sur le côté du truck. Le sabot est suspendu au moyen d'anneaux qui lui permettent de s'accommoder à toute irrégularité du conducteur ou de la voie. Chaque truck moteur est muni de deux de ces sabots, un de chaque côté. Lorsque la voiture est sur une voie, allant vers le nord, le sabot de droite est en contact, lorsque la voiture est sur l'autre voie et se dirige en sens opposé, c'est au contraire le sabot de gauche qui est en contact.

Chaque train se composera, dans les premiers temps, d'une voiture motrice qui servira de compartiment des fumeurs et qui remorquera trois wagons ordinaires. Le poids de la première, tout équipée et chargée, sera de 29 tonnes environ et celui de chacune des autres, de 21 tonnes.

La vitesse moyenne, y compris les arrêts de 14 secondes à toutes les stations, éloignées les unes des autres de 600 m. environ, sera de 21 kms à l'heure environ.

Lorsque le service l'exigera, tous les axes

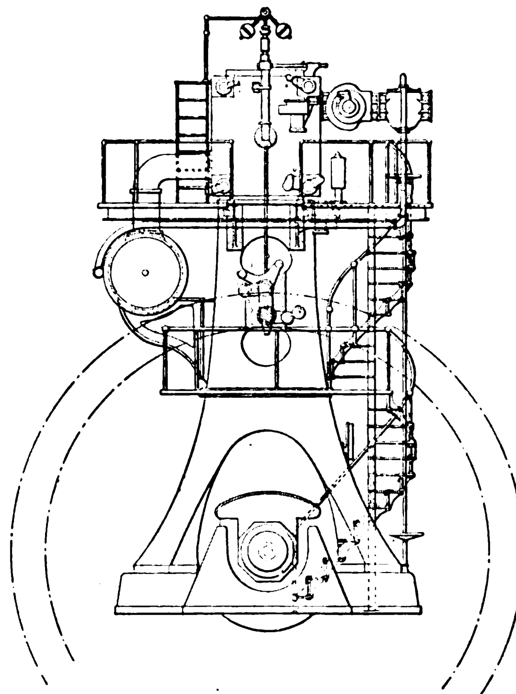


Fig. 7. — Groupe générateur. Vue en bout.

de la voiture motrice seront munis d'un moteur. La puissance en jeu sera alors de 400 chevaux; chaque train comprendra une voiture motrice et cinq wagons. La vitesse de ces trains sera de 24 kms à l'heure y compris les arrêts.

Pour terminer cette courte description, il nous reste à décrire la station centrale unique qui alimente ce réseau de voies ferrées.

Elle est située immédiatement à l'ouest de l'usine municipale d'éclairage électrique de Throop Street, près de Van Buren Street. Sa construction a été faite d'après les plans et sous la direction de M. W.-E. Baker, ingénieur de la Compagnie. Elle a 92 m. de longueur et 27,50 m. de largeur, avec une hauteur de

21,50 m. Sa puissance totale actuelle est de 6 000 chevaux, mais des dispositions convenables ont été prises pour que cette puissance puisse être doublée si les besoins du service l'exigent.

Les figures, 5, 6 et 7, représentent sous ses différents aspects une des unités génératrices. La figure 8 fait voir l'aspect général de la station centrale. Les moteurs à vapeur sont du type vertical Corliss, à accouplement direct.

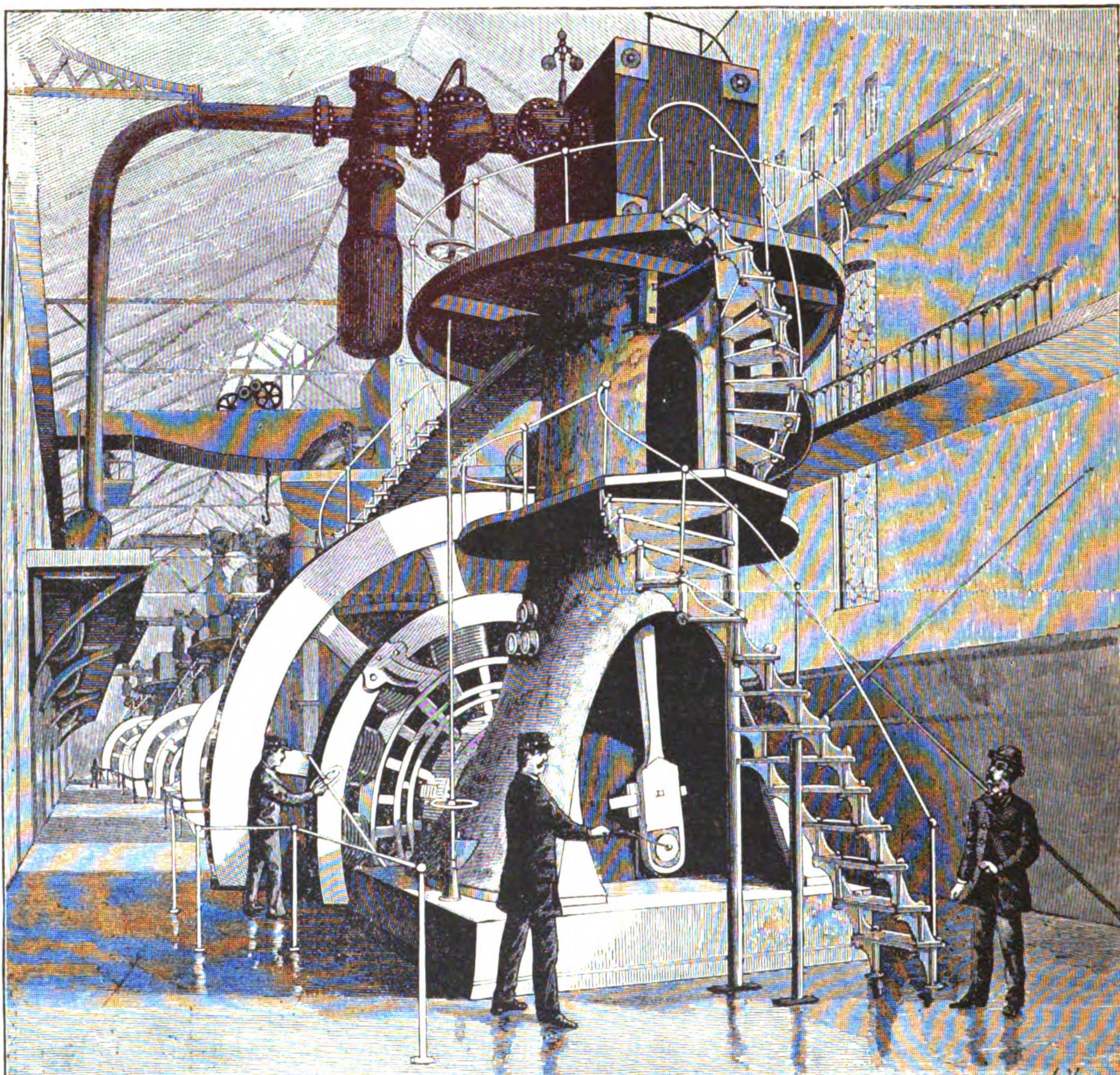


Fig. 8. — Vue perspective de l'usine centrale.

Ils ont été construits par la célèbre usine de E.-P. Alis. Ce sont les premiers moteurs verticaux que cette Compagnie ait construits pour le service de la traction électrique. Deux unités de 1 000 chevaux et deux de 2 000 seront d'abord installées ; elles ne diffèrent entre elles que par les dimensions.

Les cylindres des plus petits moteurs ont 58,4 cm et 116,9 cm. de diamètre respectivement et 122 cm. de course, tandis que les cylindres des plus grands moteurs ont pour diamètres respectifs 91,4 cm. et 182,8 cm., la course restant la même. L'arbre du moteur de 1 000 chevaux a 53,3 cm. de diamètre en plein

corps et 44,7 cm de diamètre aux paliers; le volant à 5,50 m. de diamètre, et 43,2 cm d'épaisseur à la jante; il pèse 35 tonnes. Les dimensions respectives des moteurs de 2 000 chevaux sont : diamètre de l'arbre 61 cm. et 56 cm. aux paliers; diamètre du volant 7,32 m.; largeur 53,3 cm.; poids 70 tonnes.

Les plus petits moteurs auront une vitesse angulaire de 100 tours à la minute et les plus grands, de 71 tours.

Chaque moteur est muni de deux régulateurs distincts. L'un d'eux commande la détente et l'autre une valve spéciale dans la conduite principale de vapeur afin de fermer instantanément cette conduite lorsque la vitesse angulaire dépasse une certaine limite.

Les chaudières sont du type Babcok et Wilcox; elles sont au nombre de douze. Chacune a une puissance de 300 chevaux. Elles sont arrangées en batteries de 2 chaudières chacune et fournissent la vapeur à la pression de 11,6 kgs par cm².

Elles sont alimentées automatiquement en charbon. Le poussier de charbon est déchargé directement des wagons dans des chutes qui le portent dans la chaufferie. Les fourneaux sont munis de fumivores qui donnent pleine satisfaction. Les cendres sont retirées mécaniquement à l'arrière. Les combustible est du poussier de charbon qui coûte environ 4 fr. 50 la tonne (de 908 kgs). L'eau d'alimentation sera empruntée à la canalisation de la ville et l'eau de condensation à la rivière.

Les dynamos sont du type G. E. multipolaire, identique à celui qui est employé pour les tramways. Deux ont une puissance de 1 500 kilowatts avec 12 pôles et deux autres une puissance de 800 kilowatts, avec 10 pôles.

Le tableau de distribution est composé des pannaux des générateurs et des feeders. Les premiers ont 61 cm. de large et sont munis d'appareils enregistreurs et de parafoudres.

Les renseignements et les figures contenus dans cet article sont empruntés à nos confrères de New-York, *Street Railway Journal* et *Street Railway Gazette*.

G. PELLISSIER.

LE ROLE DES APPAREILS ENREGISTREURS DANS L'ÉLECTROTECHNIQUE (¹)

Je passe maintenant aux services que les appareils enregistreurs rendent dans la surveillance de tous les jours de l'éclairage électrique ; je les décrirai en me basant sur une expérience personnelle de trois années passées dans une usine qui emploie ces appareils dans trois stations d'éclairage électrique.

Lorsqu'on introduisit ces appareils dans une station qui dépensait un courant de 350 ampères, on constata, à la fin de l'année, une économie des lampes d'incandescence de 20 p. 100, ce qui représente une somme de 1 400 francs, c'est-à-dire que le coût des appareils fut racheté en une demi-année ; à l'autre station qui ne possédait pas encore, pendant cette première année, des appareils autographiques, aucune économie ne fut réalisée. L'année suivante, lorsque ces appareils furent installés dans cette seconde station à 200 ampères, on constata une économie de 15 p. 100 ; aujourd'hui ces appareils sont installés même dans la troisième station qui ne dépense qu'un courant de 100 ampères. Les ampèremètres et voltmètres autographiques furent ensuite installés dans des stations secondaires d'accumulateurs et ont expliqué, dès les premiers jours, la raison d'être d'un fait qui jusqu'alors restait inexpliqué : la courbure et la *détérioration* des plaques positives dans la station à 60 ampères ; on constata que pendant la nuit les ouvriers déchargeaient souvent les accumulateurs à 100 ampères; ceci durait depuis deux ans. Depuis l'installation des appareils Richard, tout rentra dans l'ordre et les plaques ont cessé de se détériorer.

Après l'installation des appareils autographiques dans la grande station des accumulateurs à 200 ampères (900 ampères-heures de capacité), l'usine qui fournit les accumulateurs

(¹) Voir l'*Eclairage Electrique* du 3 août, p. 199.

se chargea de la réparation annuelle des accumulateurs, c'est-à-dire du renouvellement des plaques détériorées, pour le prix de 9 p. 100 de leur valeur primitive, mais à la condition que les inscriptions se feront régulièrement et seront toujours accessibles au contrôle des représentants de l'usine.

On comprend que, lorsque les ouvriers chargés de la surveillance des machines ont vu que toute la marche de l'éclairage — les ampères et les volts — serait régulièrement inscrite pendant la nuit, et que chaque matin ils auraient à répondre à l'ingénieur électricien de toutes les irrégularités, on comprend, disons-nous, qu'ils se mirent à observer plus attentivement les régulateurs des moteurs et les shunts des rhéostats et prirent plus de soin à éteindre et à allumer à temps les lampes dans les différents bâtiments. Ils craignaient surtout les amendes pour les négligences ayant pour effet de dépasser le voltage normal, et grâce à cela ils sauvaient les lampes à incandescence d'une perte prématurée, tandis qu'avant ils ne craignaient que les plaintes des ouvriers des différentes usines sur l'insuffisance de l'éclairage et n'avaient dès lors qu'une préoccupation, celle de ne pas laisser les volts à un niveau trop bas.

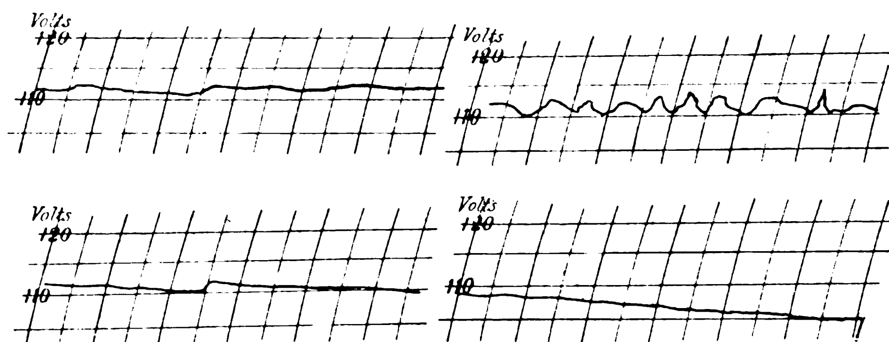


Fig. 22, 23, 24 et 25. — Diagramme du voltage dans une installation d'éclairage électrique.

La figure 22 représente l'inscription des volts, qui certifie l'accomplissement exact des instructions recommandant d'entretenir une tension de 111 à 113 volts.

Le diagramme 23 indique une très grande irrégularité dans la marche des volts, leurs surélévations et abaissements périodiques dans des limites considérables.

Une recherche faite le matin indiqua une détérioration dans le régulateur de la machine; après sa réparation la courbe prit de nouveau son aspect normal de la figure 22. Il faut remarquer, qu'auparavant une pareille irrégularité serait restée inaperçue; les élévations et les abaissements s'étant produits comme l'indique la figure, très lentement et graduellement; pendant une heure on n'en voit que deux. Ce n'est que sur le papier que ces variations apparaissent nettement; tandis que dans l'éclairage des changements pareils ne peuvent être aperçus que par un œil extrêmement exercé.

La figure 24 représente l'abaissement des volts pendant l'éclairage au moyen d'une batterie d'accumulateurs, et on voit bien à quel instant l'ouvrier surveillant augmentait la tension en manipulant le rhéostat.

La figure 25 indique jusqu'à quelle limite diminuèrent les volts aux bornes des accumulateurs, l'instruction ayant interdit de continuer la décharge, lorsque les volts aux bornes tomberaient au-dessous de 105.

On constata une fois, au moyen du diagramme (fig. 26) une forte chute des volts entre 11 heures et 1 heure de la nuit. Le surveillant déclara que ceci arriva à cause de la diminution considérable de la pression de la

vapeur dans le générateur et, à l'appui de sa déclaration, présenta le diagramme de la pression, figure 27.

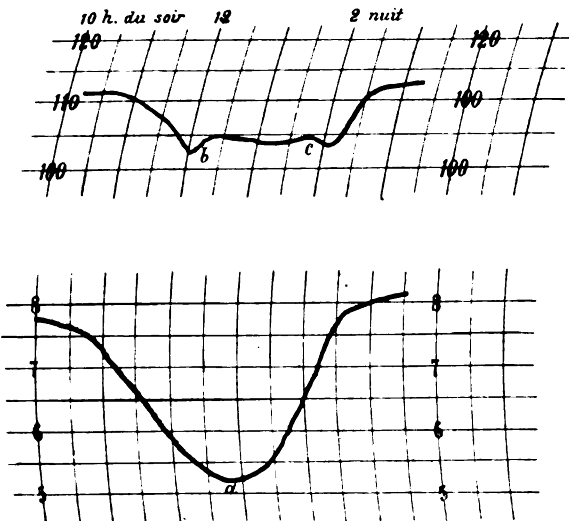


Fig. 26 et 27. — Diagrammes montrant une diminution du voltage et la diminution de pression qui en était la cause.

Les deux courbes ne se correspondent pas complètement : au moment de la plus grande diminution de la pression de la vapeur en *a*, la figure des volts indique une augmentation, surtout aux points *b* et *c*. Mais la comparaison avec la courbe des ampères (fig. 28) expliqua cette apparente discordance; entre minuit et deux heures de la nuit se produit une interruption dans la plupart des ateliers (voir la figure 28); or, la consommation de l'énergie du moteur ayant diminué, il devint possible d'obtenir une vitesse relativement plus grande avec une pression de vapeur moindre.

La figure 28 donne une idée complète de la marche de l'éclairage dans une grande station pendant une nuit du mois de novembre ; on voit nettement l'accroissement et l'abaissement de l'éclairage pendant les différentes heures, le maximum de la dépense du courant entre 4 heures 1/2 et 7 heures du soir; la chute à partir de 7 heures lorsqu'un des ateliers, dépensant 50 ampères, cesse toute activité; on voit qu'entre minuit et 2 heures de la nuit — arrêt de travail dans la plupart des ateliers — l'éclairage subit un abaissement considérable. Si l'on mesure l'aire de la figure *o.50, a, b, c, o* on obtiendra la dépense d'ampères-heures pendant la nuit.

La figure 29 indique la marche des ampères dans un circuit séparé qui alimentait douze lampes à arc, chaque paire de lampes étant de

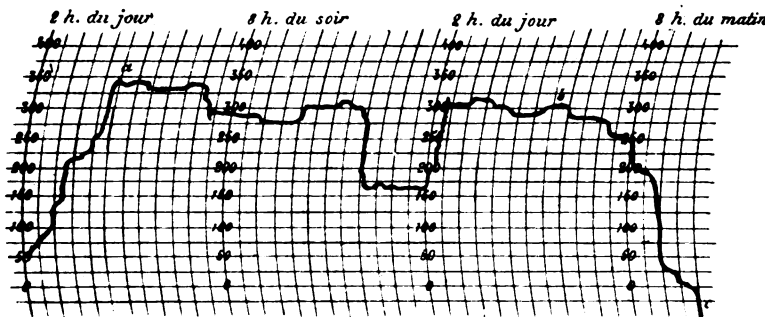


Fig. 28. — Diagramme de la charge d'une station pendant une nuit de novembre.

10 ampères. On peut suivre la variation de l'éclairage pendant la nuit et vérifier si le surveillant a exactement suivi les instructions données; à quelle heure il allumait ou éteignait telle ou telle paire de lampes. On voit une surélévation aux points *a*; elle provient non seulement de l'oscillation brusque de la plume, mais d'une véritable élévation des ampères, la période de l'abaissement étant de 10 minutes environ : pendant les premiers instants, tant que les bouts des charbons n'ont pas atteint leur incandescence normale,

une plus grande intensité du courant est consommée; les petits allongements aux points *b* sont dus aux oscillations de la plume. Au point *c* l'on voit une augmentation assez irrégulière du courant; interrogé par l'ingénieur,

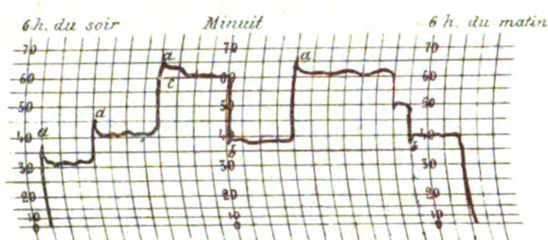


Fig. 29. — Marche des ampères dans un circuit de onze lampes à arc.

le surveillant donna l'explication suivante : il remarqua que l'intensité du courant ne s'abaissait pas jusqu'à sa valeur normale; il envoya son aide contrôler le couple des lampes allumées à l'instant même; or il constata que dans une de ces lampes les bouts des charbons étaient en contact, de sorte que cette lampe ne fonctionnait pas; on a dû séparer à la main les deux charbons pour les allumer.

Lorsqu'on décida l'éclairage électrique du

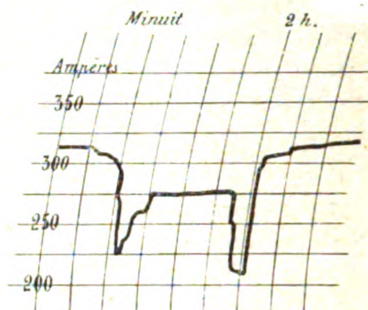


Fig. 30. — Courbe des ampères en marche normale.

dépôt de l'usine, ce fut à la condition expresse que, pendant la nuit, l'éclairage ne fonctionnerait qu'entre minuit et demi et 1 h. 3/4, l'heure où la consommation du courant diminue considérablement, car autrement les ma-

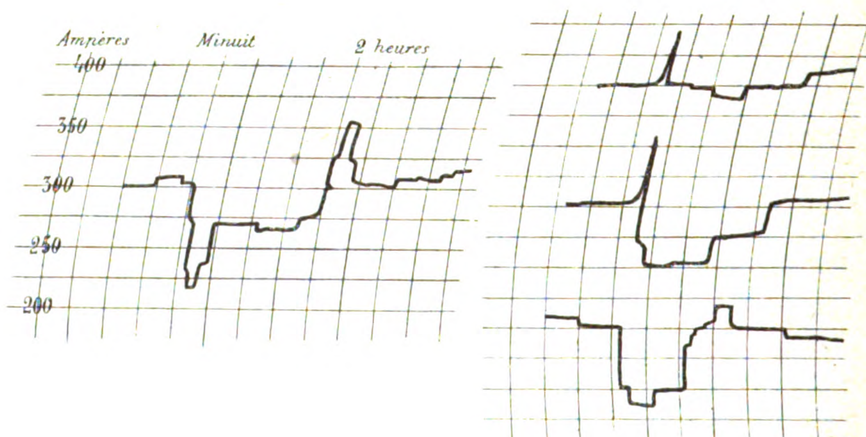


Fig. 31 et 32. — Courbes des ampères en marche anormale.

chines à vapeur dynamo seraient insuffisantes. La figure 30 indique que cette condition fut régulièrement remplie, tandis que la figure 31 indique sa violation : on n'a éteint l'éclairage qu'à 2 h. 1/4 de la nuit.

La figure 32 indique des cas de dérivation latérale et de fusion de grands coupe-circuits : la courbe supérieure indique une oscillation de l'aiguille, provenant d'une dérivation latérale de très courte durée sans fusion du coupe-circuit. La courbe du milieu indique qu'immédiatement après le contact latéral le coupe-circuit, correspondant à 100 lampes, a fondu. Enfin, la courbe inférieure indique la fusion d'un coupe-circuit pareil, mais survenue non à la suite d'une dérivation latérale puisqu'on ne

constate pas la moindre saillie, c'est-à-dire aucune augmentation du courant au moment même de la fusion. Il est probable que le plomb du coupe-circuit s'est oxydé avec le temps et que sa résistance augmenta. Ces indications autographiques dictent à l'ingénieur électricien les mesures à prendre après des accidents pareils.

Enfin, la figure 33 se rapporte à un cas d'incendie, où l'on soupçonnait l'électricité d'en être la cause. A 11 heures du soir une partie de l'éclairage s'est éteint; de 11 heures à 12 h. 1/4 de la nuit la ligne des ampères a une direction horizontale; à 12 h. 1/4 on alluma dans le bâtiment, où se produisit l'incendie; à 12 h. 35 m. commencent les perturbations dans la ligne des ampères; les points *a*, *a* indiquent la fusion des circuits principaux; le moment où l'incendie fut aperçu est noté en *b*. Cette figure exerça une grande influence sur la marche de l'instruction judiciaire et tout soupçon d'une cause électrique de l'incendie fut écarté.

Je pourrais citer une quantité d'autres diagrammes aussi intéressants et instructifs.

L'administration de l'usine dont je parle, se persuada graduellement, par l'expérience, de l'utilité des appareils autographiques, et étendit, en conséquence, leur usage.

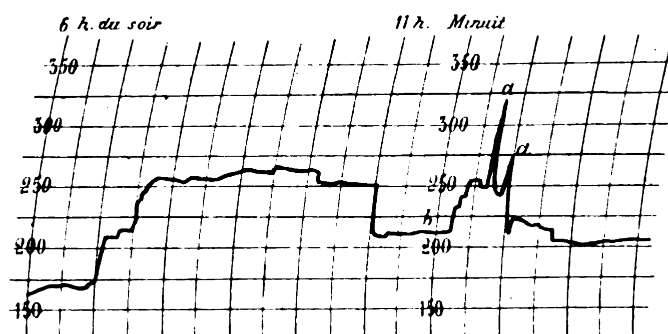


Fig. 33. — Courbes des ampères montrant les variations du débit pendant l'incendie d'un bâtiment éclairé par l'usine.

En dehors des manomètres enregistreurs adaptés à tous les générateurs, on voit fonctionnant aujourd'hui dans les trois stations, six ampèremètres et six voltmètres de Richard.

Au moyen du planimètre, on calcule les ampères-heures et les kilowatts par mois et par année; la dépense des lampes à incandescence et des charbons des lampes à arc voltaïque se calcule en ampères-heures; la dépense du combustible en kilowatts.

Quand on dresse le devis de l'éclairage pour chaque année, la dépense de ces objets et de plusieurs autres est indiquée en ampères-heures ou en kilowatts normaux. Les diagrammes des mois et des années précédentes servent des documents pour la vérification des dépenses des matériaux.

J'espère que les exemples cités ont suffisamment démontré l'utilité des appareils enregistreurs de grande ou de faible importance dans les stations d'éclairage électrique; l'installation de ces appareils, loin d'être une dépense inutile, assure toujours une économie plus ou moins grande.

W. TCHIKOLEFF.

REVUE

DE LA PRESSE INDUSTRIELLE

ET DES INVENTIONS

Pédale Tyer (1894)

Cette pédale est disposée de manière à ne fonctionner que si son aiguille est faite, puis à rester abaissée, après le passage d'un train, jusqu'à ce que l'aiguille ait été refaite.

A cet effet, le bras EG de la pédale est flexible, et son contrepoids H est ordinairement bloqué par un taquet *n*, de sorte que le passage d'un train ne fait que fléchir E sans aucun effet sur le contact à mercure L. Au contraire, quand l'aiguille est faite, par le levier J, amenant *n* dans la position pointillée, E, s'abaissant au passage du train, ferme le contact L, qui reste fermé par son frottement entre les ressorts K, jusqu'à ce que l'on ait rouvert l'aiguille par J.

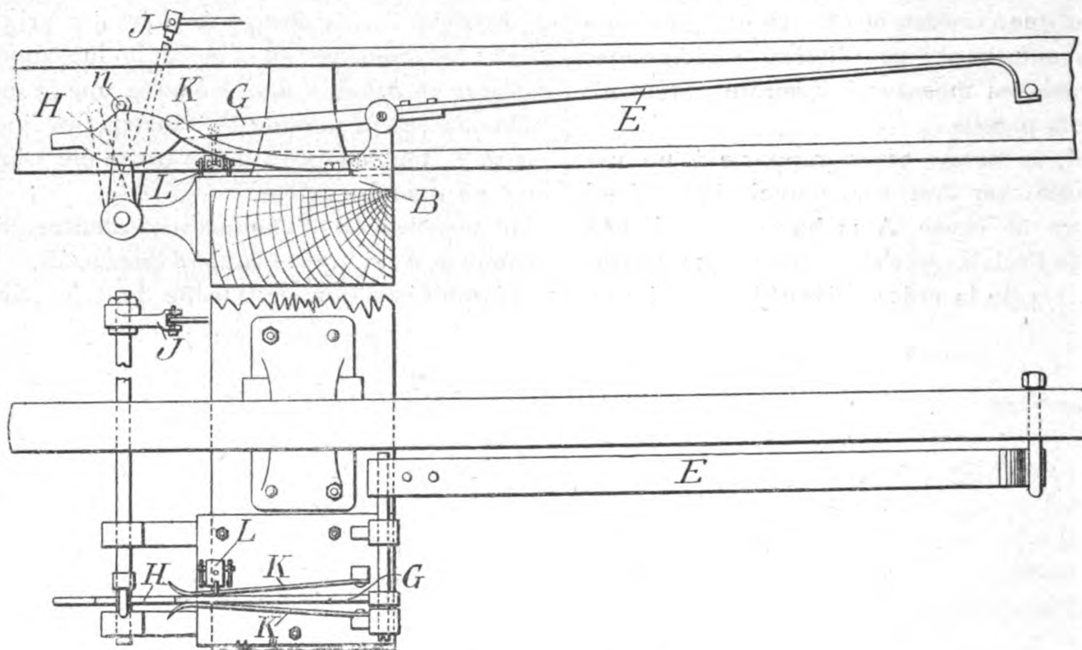


Fig. 1 et 2. — Pédale Ther.

G. R.

Coupe-circuit Siemens et Halske (1895).

Ce coupe-circuit est basé sur ce principe que l'étincelle des courants de haute tension est interrompue plus fortement par un diélectrique liquide que par un gaz. Le plomb fusible BB est, à cet effet, enfermé dans un tube de porcelaine R, rempli d'un diélectrique fusible D, cire, paraffine, etc, fermé par deux bouchons PP, et ouvert en R' pour le passage de la partie fusible B' du plomb. La chaleur de ce plomb fond le diélectrique qui l'entoure, et éteint ainsi rapidement l'étincelle.

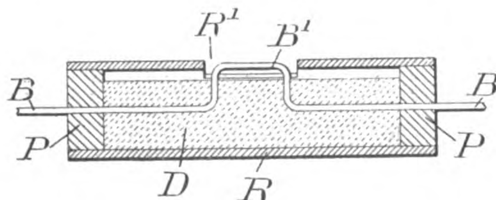


Fig. 1. — Coupe-circuit Siemens et Halske.

G. R.

Téléphone de la Société téléphonique de Berlin (1894).

Lorsque le récepteur T d'un poste téléphonique est relié en série avec le secondaire *ss* (fig. 1) de sa bobine d'induction, la résistance que ce secondaire oppose au passage des courants de ligne LL' diminue considérablement la sensibilité du téléphone. Si l'on dispose le téléphone en parallèle (fig. 2) cette perte diminue, mais il s'en produit une autre du fait que les courants LL_1 se divisent entre T et *ss*.

L'invention consiste à éviter en grande partie ces pertes par la réunion en un seul du téléphone et de la bobine d'induction : les courants téléphoniques traversant le primaire *pp*,

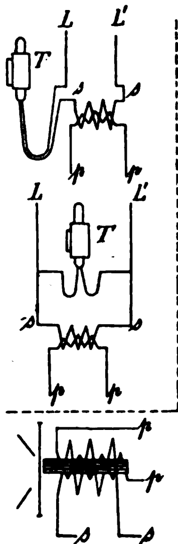


Fig. 1, 2, 3. — Téléphone de la Société téléphonique de Berlin.

induisent alors en *ss* (fig. 3) des courants transformés directement en vibrations sonores.

Le schéma figure 5 représente l'application du système à un téléphone bipolaire. Les vibrations de la membrane *a b*, concordantes

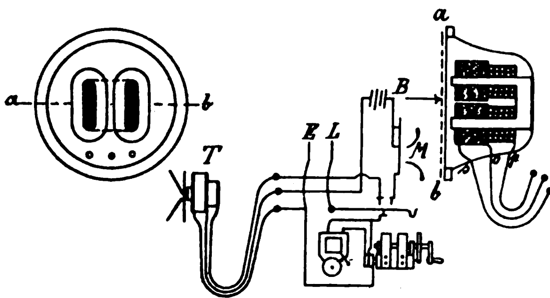


Fig. 4 et 5. — Téléphone de la Société téléphonique de Berlin.

avec les ondulations du courant dans le primaire *op*, diminuent la résistance de son circuit magnétique, et les courants du secondaire *ss y* sont induits dans un champ magnétique presque fermé par *op*. G. R.

Accumulateurs Drake et Marshall (1894).

Les plaques sont composées de barreaux *a b*, de 25 mm. d'épaisseur, espacés de 3 mm. par

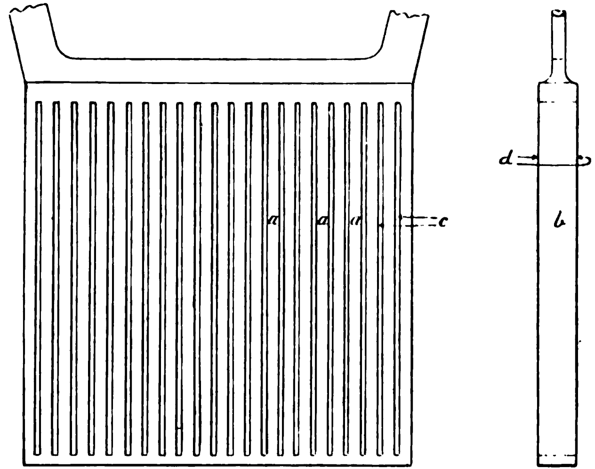


Fig. 1. — Accumulateurs Drake et Marshall.

des fentes *e*, et soudés au cadre de manière à constituer un ensemble très solide et très actif, paraît-il, malgré la forte épaisseur de la plaque. G. R.

Coupe-circuit Ferranti (1894).

Le plomb fusible très court *a* est appuyé sur

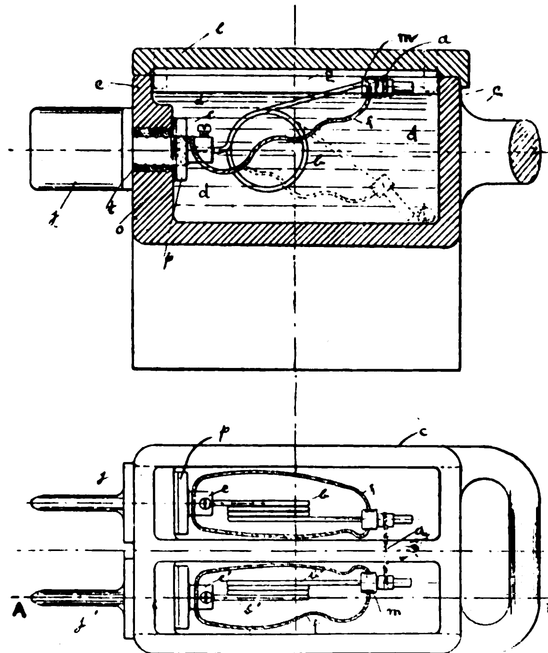


Fig. 1 et 2. — Coupe-circuit Ferranti.

la cloison de porcelaine *g* par deux ressorts *b* et *b'* reliés aux bornes *j* et *j'* et, par qui le courant est amené soit en entier soit dérivé en partie par les deux fils *f*. Avant la fusion complète de *a*, les ressorts *bb'* rompent, en en plongeant les bouts dans l'huile lourde *d*, de manière à éviter tout danger d'étincelles, etc.

G. R.

Câbles flottants Felten et Guillaume (1894).

Les conducteurs *a*, enveloppés de jute *b*, recouvrent complètement l'armature *c* des moyeux en liège *d*, et l'ensemble des câbles

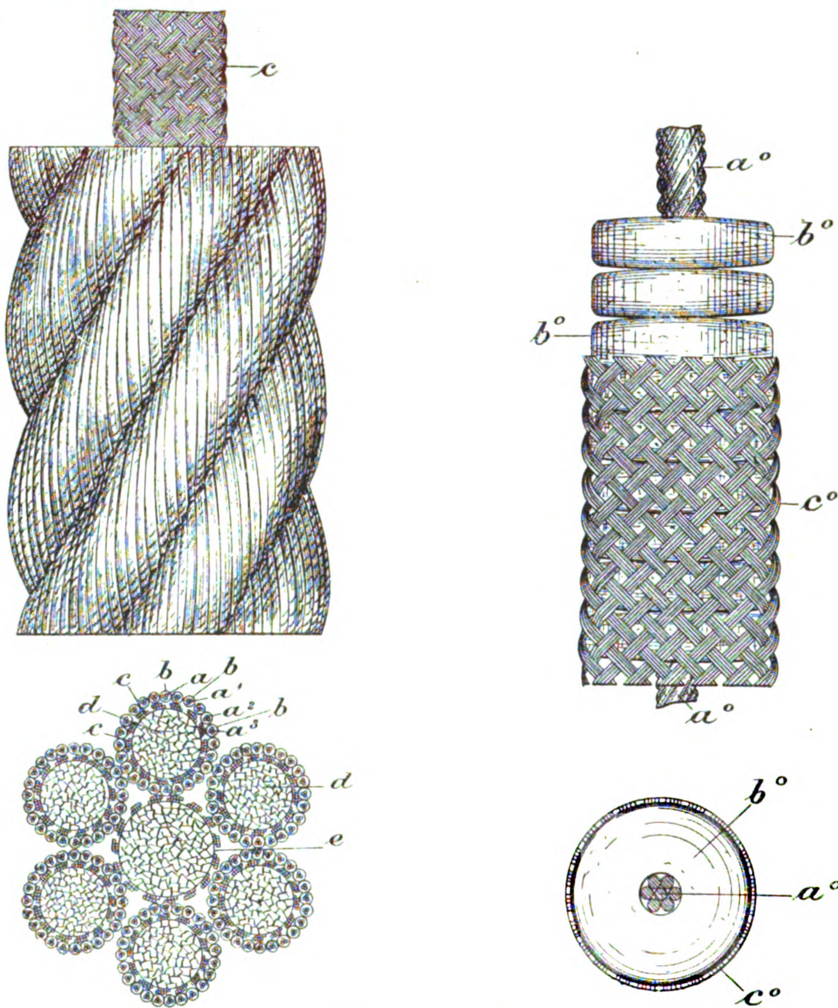


Fig. 1, 2, 3 et 4. — Câbles flottants Felten et Guillaume.

ainsi formés est enroulé autour d'une âme en liège *e*. En figure 3 et 4, le cable a_0 est enfilé dans des rondelles de liège b_0, armées en c_0.

G. R.

Voiture électrique Bersey (1894).

Les roues D sont commandées par deux dynamos G à socle I suspendu en I' sur l'espace C, et portée en avant par des galets *i*; les dynamos attaquent les roues par des trains à chaîne sans fin L *l k m* L M', et sont en-

fermés dans un coffre F, avec les accumulateurs H. L'avant-train N est commandé, du siège, par la transmission P*o*, à chaîne sans fin *n*. G. R.

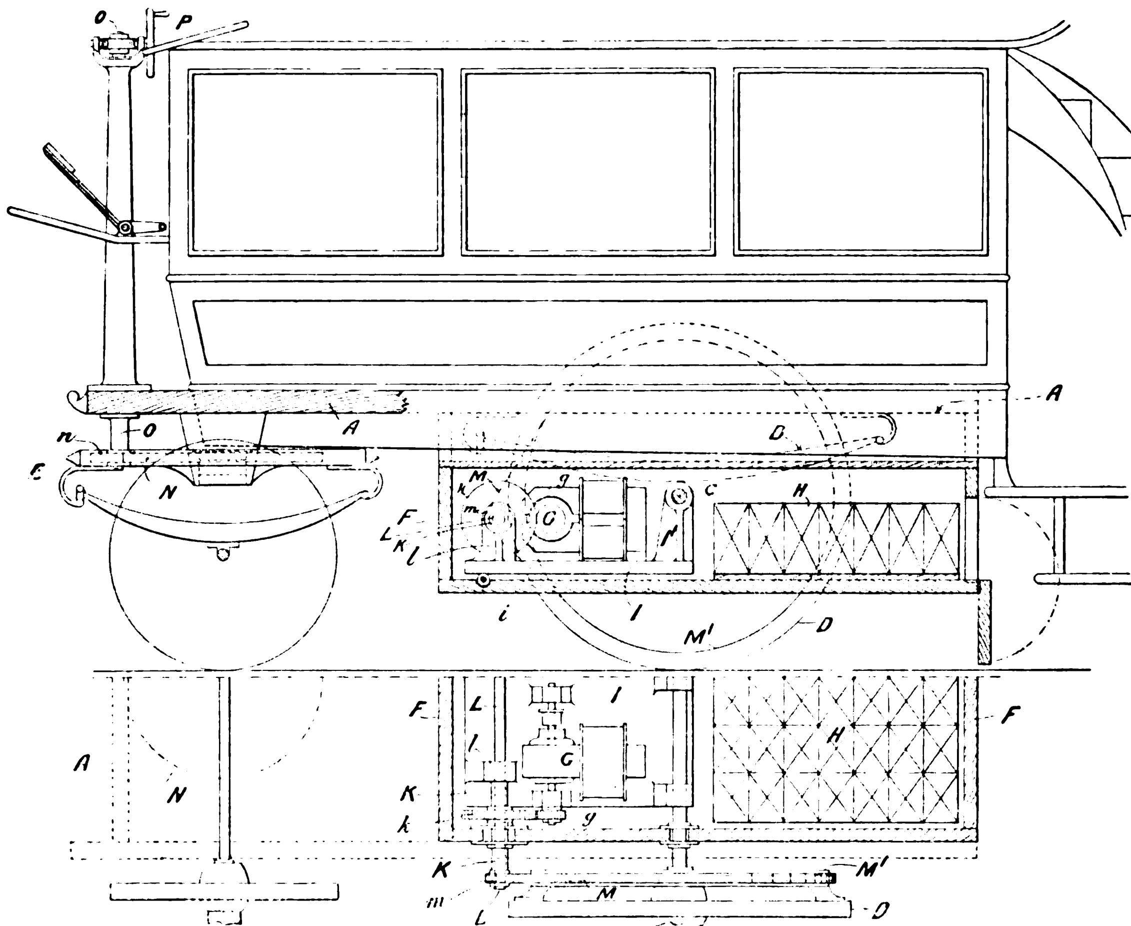


Fig. 1 et 2. — Voiture électrique Bersey.

Sur l'électrolyse par courants alternatifs.

En rendant compte des expériences de M. Peukert sur ce sujet [1], nous avons noté comme fait curieux le résultat obtenu par cet auteur, qui, en faisant passer dans un voltamètre un courant alternatif n'a pas trouvé la moindre différence de phase entre le courant et la différence de potentiel. Il est évident que l'existence même d'une force contre-électromotrice implique la création d'une différence de phase entre courant et f. é. m.; aussi ne pensions-nous pas devoir insister, et en revenant aujourd'hui sur ce même sujet, notre but est seulement de reproduire quelques-unes des remarques apportées à la discussion par M. Dobrowolsky [2].

Le travail de M. Peukert, dit-il, nous apprend seulement qu'on a fait passer dans un voltamètre à électrodes de platine de dimensions données un courant de 3,3 ampères et de 96 alternances par seconde. Mais quelle était la tension aux électrodes? Quelle était la résistance du voltamètre? Ces indications seraient importantes, puisque la différence de phase

[1] L'*Eclairage Electrique* du 20 juillet 1895, p. 133.

[2] *Elektrot. Zeitschr.* 20 juin 1895.

dépend du rapport de la polarisation à la différence de potentiel aux bornes. Si la tension avait, par exemple, été de 50 volts, et la f. é. m. moyenne de polarisation de 1,5 volt, on aurait eu

$$\sin \varphi = \frac{1,5}{50} = 0,03.$$

Cette valeur correspond à un angle tellement petit qu'on ne pourrait le déceler par une méthode de détermination directe des courbes.

Pour obtenir de grandes différences de phase, l'appareil doit absorber le moins d'énergie possible, sa résistance doit être petite par rapport à l'intensité du courant. Comme dans le cas considéré, la quantité d'énergie accumulée sur les électrodes, est proportionnelle à la surface de celles-ci, il s'ensuit que pour atteindre une valeur donnée de la polarisation, avec un courant alternatif de fréquence donnée, il faut choisir une certaine quantité d'électricité par quart de période, autrement dit une certaine densité de courant. Pour diminuer la résistance de l'élément, on ne doit donc pas augmenter dans ce cas la surface des électrodes, puisqu'il serait alors nécessaire d'employer un courant proportionnellement plus intense, ce qui relèverait aussi la chute de potentiel dans la résistance intérieure. On n'arrive au résultat voulu qu'en rapprochant les électrodes, et en augmentant la conductibilité de l'électrolyte.

En tenant compte de ces faits on peut créer avec des voltamètres des différences de phase assez grandes pour qu'on puisse songer à une application pratique. M. Dobrowolsky avait même demandé un brevet (1892) pour cette application particulière; mais ce brevet lui fut refusé parce qu'on considérait que les publications du professeur Mangarini [1] en avaient antérieurement fait connaitre le principe.

Avec des batteries de cuves en fer remplies de soude on a obtenu des décalages de phase de 80 degrés. On sait d'ailleurs que Stanley se sert de ce genre de condensateurs électrolytiques et que C. Brown les emploie également pour le démarrage de ses moteurs à courants alternatifs.

A. H.

[1] *La Lumière Electrique*, t. XXXVIII, p. 541.

Des causes qui déterminent les différences de phases dans les circuits à courants alternatifs, par Edwin J. Houston et A.-B. Kennelly.

Ceux qui se livrent à l'étude des phénomènes électriques éprouvent parfois une grande difficulté à bien comprendre les conditions dans lesquelles se produit la différence de phase entre la f. é. m. et l'intensité sur les circuits parcourus par des courants alternatifs. Les auteurs ont pensé en faciliter l'intelligence à ceux qui ne sont pas familiarisés avec les considérations théoriques qui dominent cette question en publiant dans l'*Electrical World* l'exposition élémentaire suivante que nous leur empruntons.

Le seul obstacle qui s'oppose au passage d'un courant électrique continu dans un circuit est la résistance de ce circuit; le courant, dans ces conditions, est complètement défini par la loi d'Ohm. Dans un circuit à courants alternatifs, en dehors de la résistance intervient également la réactance, et la combinaison de la résistance et de la réactance du circuit constitue ce qu'on a appelé l'impédance. La réactance du circuit s'ajoute toujours à la résistance; mais cette addition se fait non pas arithmétiquement mais géométriquement. En d'autres termes, si la résistance est représentée par une ligne droite horizontale à la longueur de laquelle on donne une valeur numérique, la réactance sera également représentée par une ligne droite perpendiculaire à la précédente et dont la valeur numérique déterminera, avec celle de la droite horizontale, la valeur de l'impédance. Si, par exemple, une bobine de fil représentée par O' B' dans la figure 1 a une résistance O A de trois ohms, et une réactance A B de quatre ohms, l'impédance de cette bobine sera O B, ou cinq ohms, comme l'indique la figure et en vertu de la relation $\sqrt{3^2 + 4^2} = 5$. Si l'on applique à cette bobine une f. é. m. de 30 volts, comme

elle n'a que de la résistance et pas de réactance, l'intensité du courant qui y passera sera de $\frac{30}{3}$ ou 10 ampères; mais, dès qu'on lui applique une f. é. m. alternative de 30 volts, étant admis qu'elle présente une réactance de quatre ohms, comme précédemment, l'impédance de cinq ohms qui en résulte n'y laisse plus passer que $\frac{30}{5} = 6$ ampères.

De plus, le courant dû à la f. é. m. continue sera déterminé par la tension intégrale de

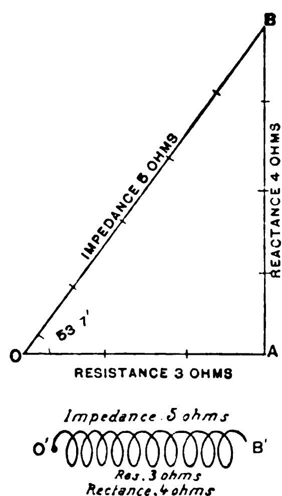


Fig. 1.

30 volts, ce qui correspondra à une puissance de $30 \times 10 = 300$ watts développée dans la bobine. Le courant de 6 ampères déterminé par la f. é. m. alternative aura le même sens O A (fig. 1), si la f. é. m. est considérée comme étant de sens OB, c'est-à-dire que le courant O A sera en retard, sur la f. é. m., d'un angle BOA ayant ici une valeur de 53° 07', soit environ 1/7 de période complète. Cet angle BOA s'appelle angle de phase ou de décalage et ne peut en aucun cas dépasser ni même égaler 90° ou un quart de période.

Cet exemple montre que, si l'on peut dire d'une façon générale que l'impédance d'un circuit est égale à sa résistance augmentée de sa réactance, encore ne faut-il pas oublier que cette addition doit être faite géométriquement, et que l'angle de décalage dépend des proportions relatives de la réactance et de la résistance. Quand la première est extrêmement faible (circuit sans self-induction ni capacité), l'impédance est pratiquement égale à la résistance, et l'intensité, en concordance de phase avec la f. é. m. Mais si, par contre, la réactance est très grande et la résistance faible, l'impédance surpasse de beaucoup la résistance, et l'intensité est sensiblement à angle droit avec la f. é. m., ou en discordance presque complète de phase avec elle. Les Anglais appellent souvent ce courant, courant sans watts, c'est-à-dire que son maintien n'exige pratiquement aucune dépense de puissance.

Pour montrer le résultat du montage d'impédances en série, supposons la bobine de fil précédente reliée à un fil rectiligne de maillechort d'une résistance de cinq ohms. La résistance totale de l'ensemble sera dès lors de $5 + 3 = 8$ ohms, tandis que sa réactance totale restera de 4 ohms, puisque celle du fil droit est négligeable. L'impédance sera alors de 4,94 ohms, comme on le voit sur la figure 2, et l'intensité correspondant à une f. é. m. alternative de 30 volts appliquée à la nouvelle disposition sera par conséquent de 30 : $8{,}94 = 3{,}354$ ampères.

On remarquera que l'angle de décalage, dans la figure 2, n'est guère que la moitié de la figure 1. C'est pour cette raison que la réactance du circuit ne varie pas, alors que sa résistance augmente. Le circuit dans son ensemble a moins de réactance; mais chaque portion de ce circuit prise isolément doit naturellement être parcourue par un courant en telle relation de phase, par rapport à la tension à ses bornes, que l'indique son diagramme d'impédance. Ainsi, dans la figure 2, le courant qui parcourt la bobine O' B' sera décalé (en retard), par rapport à la tension à ses bornes, d'un angle égal à 53° 7; le courant dans la résistance C' O' sera en concordance de phase avec la tension à ses bornes; et dans l'ensemble du circuit C' B', le courant sera en retard de 26° 26' par rapport à la tension à ses bornes C' B'.

Si, au lieu d'ajouter cinq ohms de résistance sans réactance, comme dans la figure 2, on en avait ajouté 500, on aurait obtenu un circuit dans lequel le retard eût très faible, et par suite l'intensité presque en concordance de phase avec la tension aux bornes; mais le courant dans la bobine O' B' aurait toujours été décalé de 53° 7' en arrière par rapport à la tension à ses propres bornes.

Comme exemple pratique des principes ci-dessus exposés, considérons un circuit à courant alternatif composé de :

1° Un alternateur de 70 kw. fonctionnant à

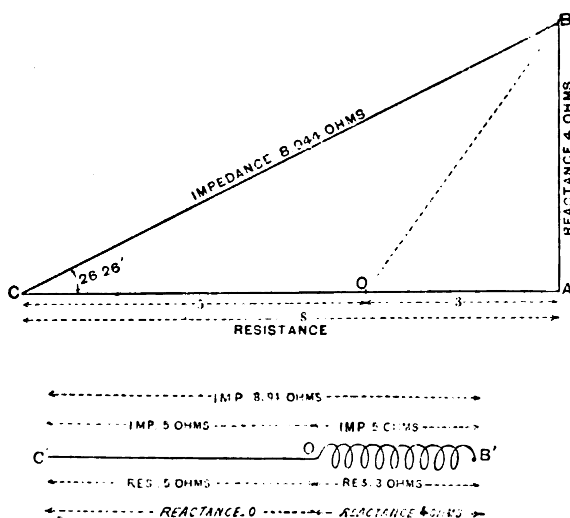


Fig. 2.

une fréquence de 140 périodes par seconde et sous une tension de 1294 volts;

2° Deux fils conducteurs aériens de 3,2 km chacun;

3° Un transformateur de 50 kw. à la station réceptrice.

Si le transformateur fonctionne à pleine charge, il présentera sensiblement une impédance de 19 ohms, une résistance apparente de 18,81 ohms et une réactance de 2,66 ohms, comme l'indique la figure 3. Il ne faut pas oublier que la résistance apparente (18,81 ohms) est toujours supérieure à la résistance réelle ou ohmique en raison de sa charge et aussi, bien qu'à un degré moindre, en raison de l'hystérésis dans le noyau de fer du transformateur.

En d'autres termes, la bobine primaire du transformateur à circuit magnétique fermé se comporte comme si elle avait une résistance de 18,81 ohms sans noyau de fer et une réactance de 2,66 ohms. L'angle de décalage dans le transformateur est en conséquence approximativement de 8°.

Si les deux fils conducteurs ont 5,8 mm. de



Fig. 3.

diamètre et sont à une distance de 50 cm. l'un de l'autre, ils auront chacun une résistance de 2,06 ohms, une réactance de 3,09 ohms et une impédance de 5.714 ohms, comme on le voit sur la figure 4. Par suite, l'intensité dans chaque fil sera décalée de 45° 4' par rapport à la tension aux bornes.

On peut supposer à l'alternateur une résistance apparente d'un ohm, de sorte que l'intensité se trouve décalée de 45° par rapport à la chute de potentiel dans l'induit, comme dans la figure 5.

Si donc on admet une tension de 1000 volts



Fig. 4 et 5.

maintenue aux bornes primaires du transformateur, l'intensité sera de $\frac{1\,000}{19} = 52{,}63$ ampères dans ce transformateur.

On aura dans le circuit comme

Résistance apparente totale		Réactance	
Induit	= 1,0	Induit	= 1,0
Ligne	= 4,12	Ligne	= 6,18
Transformateur	= 18,81	Transformateur	= 2,66
	23,93		9,84

L'intensité dans le circuit sera, en conséquence, décalée de 22°21' relativement à la

f. é. m, engendrée dans l'induit, comme dans la figure 6.

Si l'on néglige la chute de potentiel dans l'induit, qui sera de $1,414 \times 52,63 = 74,4$ volts, et que l'on considère uniquement la ligne et le transformateur, la résistance apparente totale sera de 22, 95 ohms, et la réactance totale,

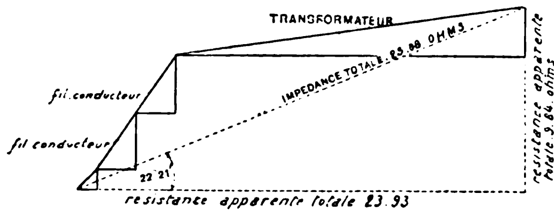


Fig. 6.

de 8,84 ohms. L'intensité dans l'induit sera, par suite, décalée de 21° 8′ par rapport à la tension aux bornes de l'alternateur.

La chute de potentiel dans la ligne sera de $52,63 \times 7\,428 = 390,9$ volts (195,45 dans chaque fil), et les intensités dans chacun d'eux seront décalées de 56° 15′ relativement à cette tension. Le décalage sera de 8° dans le transformateur, et de 21° 8′ dans la ligne et le transformateur pris ensemble.

On voit par là que, si une bobine, un fil, ou un système conducteur quelconque a une résis-

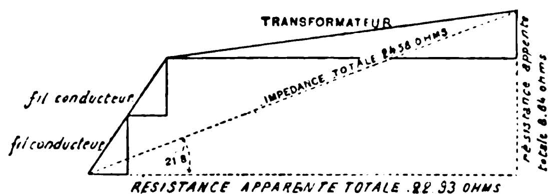


Fig. 7.

tance et une réactance données, il se produit un décalage de phase déterminé entre l'intensité et la tension qui agit à ses bornes, mais que le courant dans le circuit entier a une phase différente de la f. é. m. totale dans le circuit, différence qui dépend de tous les éléments individuels constitutifs du circuit.

E. B.

Contribution à une théorie des moteurs d'induction synchrones, par Alexandre Rothert.

L'objet de cet article, empruté à l'*Electrical World* n'est pas d'émettre des idées nouvelles, mais d'exposer d'une manière claire et générale les propriétés des moteurs alternatifs simples et polyphasés, et notamment d'indiquer sans le secours de l'analyse le mode de fonctionnement du moteur à courants alternatifs simples. Une méthode convient très bien à cette exposition, en ce qu'elle montre d'une façon extrêmement remarquable les propriétés de ces moteurs; c'est le diagramme du couple mécanique en fonction de la vitesse et du glissement.

Nous considérerons tout d'abord le cas plus simple du moteur polyphasé et nous admettrons que le système inducteur développe un champ tournant sensiblement constant dont l'intensité, dans les limites de la pratique, dépend uniquement du potentiel de fonctionnement que nous supposerons également constant.

Pour plus de simplicité, prenons le cas théorique dans lequel l'induit fermé ne possède pas de self-induction, c'est-à-dire que tout le flux qui le pénètre passe aussi dans le système inducteur. La f. é. m. développée dans cet induit sera (comme pour une dynamo à courant continu) proportionnelle à la vitesse relative de l'inducteur et de l'induit, autrement dit, proportionnelle au glissement. Conformément à la loi d'Ohm, le courant d'induit sera de même directement proportionnel à ce glissement. Le couple mécanique est, d'autre part, égal au produit de l'intensité du courant d'induit par l'intensité du champ tournant, et, par suite, pour un champ tournant constant, proportionnel au courant d'induit et, en conséquence, également au glissement.

La figure 1 indique graphiquement le résultat. Le nombre de tours du moteur depuis o jusqu'à la vitesse angulaire de synchronisme, désignée par 1, y est porté en abscisses, et les couples mécaniques correspondants, en ordonnées. D'après ce qui est dit plus haut la ligne

droite *a* donne le couple mécanique en fonction de la vitesse angulaire : quand il y a synchronisme (glissement = o), le couple est nul, et, quand le moteur est au repos (glissement = 1), le couple atteint son maximum.

Le moteur approchant de ce cas théorique serait celui dont l'induit fermé aurait un enroulement de grande résistance relativement à sa self-induction ; c'est-à-dire un moteur dont l'enroulement d'induit tiendrait très peu de place. Un moteur de ce genre n'aurait naturellement pas d'utilité pratique, en raison du glissement trop considérable, du rendement trop faible et des dimensions trop grandes pour une puissance donnée, qu'il présenterait ; mais il démarrerait très bien, le couple mécanique en étant maximum au repos.

Plus la self-induction devient considérable

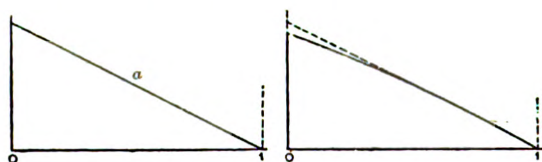


Fig. 1 et 2.

par rapport à la résistance, plus la ligne droite s'incurve (fig. 2), parce qu'il se produit dans l'induit entre le courant et la f. é. m. un décalage de phase, qui affaiblit l'attraction entre le champ tournant et le courant d'induit, et que, d'un autre côté, le courant lui-même diminue.

La self-induction de l'induit est limitée par l'espacement des lignes de force qui y sont induites par le courant, et elle est, en conséquence, d'autant plus élevée que ce flux fermé sur lui-même, sans passer par le fer des inducteurs, est plus grand. La dérivation augmentera en général avec le nombre d'ampères-tours de l'induit (c'est-à-dire avec un enroulement occupant plus de place) et avec la saturation magnétique de l'entrefer.

Si l'on part d'un nombre donné d'ampères-tours sur l'induit, et qu'on réduise progressivement sa résistance, c'est-à-dire que la place occupée par l'enroulement augmente, le diagramme prendra la forme donnée par la figure 3. Les courbes différeront de plus en plus de la ligne droite, tandis que le couple moteur ainsi que la puissance du moteur augmenteront notablement, mais seulement jusqu'à un certain maximum. A partir de ce point la valeur maxima du couple reste constante [1] mais le caractère de la courbe change pour une nouvelle diminution du couple de démarrage, et, plus il diminue, plus l'espace occupé par l'enroulement prend d'importance ; autrement dit, plus la résistance d'induit diminue. Cette relation est indiquée par la figure 4.

Un moteur présentant la courbe *g* démarrerait difficilement ; peut-être même ne démarrerait-il pas ; mais d'autre part il aurait une

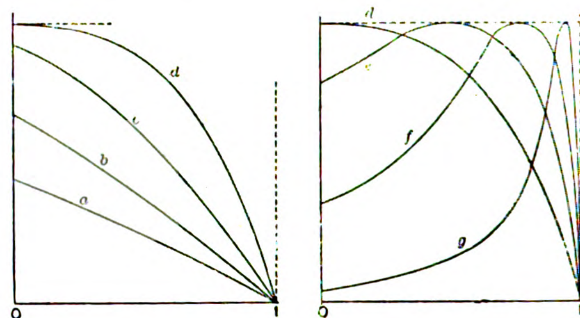


Fig. 3 et 4.

allure beaucoup plus constante, parce que le couple moteur atteint son maximum avant que le glissement ait pris de l'importance. On peut à volonté réduire ce glissement, mais naturellement, comme l'indique la figure 4, aux dépens du couple de démarrage.

Comme on le voit d'après ces courbes, on est absolument maître d'adapter à un cas particulier quelconque des moteurs à champ tournant asynchrones et des moteurs polyphasés.

On peut avoir besoin, par exemple, d'actionner une grue qui devra démarrer sous charge considérable, mais pour laquelle la

[1] M. Blondel l'a démontré analytiquement dans son remarquable travail intitulé *Notes sur la Théorie élémentaire des appareils à champ tournant* dans la *Lumière Electrique*, 1893, t. L. Ce résultat se déduit également de la représentation graphique d'Heyland dans l'*Elektrotecnische Zeitschrift* de 1894, nº 41.

constance de la vitesse est secondaire ; ou bien on peut chercher à réaliser un moteur à vitesse angulaire aussi constante que possible mais démarrant à vide.

Entre ces deux extrêmes tous les cas intermédiaires peuvent se présenter.

Il y a cependant un moyen de concilier ces deux propriétés importantes. Il consiste à introduire au démarrage, dans le circuit d'induit, des résistances sans self induction, qui permettront d'obtenir pour le démarrage la courbe *d*, au lieu de la courbe *g*. Dès que le moteur est en marche, on retire progressivement ces résistances. Ce procédé offre également l'avantage d'éviter des intensités excessives au démarrage ; mais il implique malheureusement l'emploi de bagues et balais collecteurs. Au lieu d'introduire des résistances, on peut monter certaines parties de l'enroulement en opposition avec d'autres et réduire ainsi le nombre de tours efficaces tout en maintenant la résistance constante. On arriverait au même résultat par l'introduction de condensateurs dans le circuit d'induit pour neutraliser la self-induction ; mais ce procédé serait d'un application difficile. Toutes ces méthodes présupposent l'emploi d'un induit fermé formé de fils, et non pas l'induit en « cage d'écureuil », bien connu, composé de barres de cuivre reliées les unes aux autres, à chaque bout de l'induit, par des anneaux conducteurs.

Avant de passer aux moteurs alternatifs simples, on peut envisager le cas suivant : Qu'on imagine l'induit tournant en sens contraire du mouvement du champ tournant, et qu'on trace le schéma correspondant. Il faudra naturellement dépenser du travail pour faire tourner l'induit, attendu que, conformément à la figure 5, le couple moteur s'oppose au mouvement et est, par suite, négatif.

Les courants alternatifs produisent dans les inducteurs d'un moteur alternatif simple un champ ondulatoire que, pour plus de simplicité, on peut considérer comme sinusoïdal. Mais un champ oscillatoire sinusoïdal peut se décomposer en deux champs tournants de même période tournant en sens contraires.

On peut dès lors reprendre l'ordre d'idée primitif. Chacun de ces deux champs tournants détermine dans l'induit fermé des courants de périodes différentes qui, à leur tour, donnent naissance à deux couples, dont l'un est positif par rapport au sens du mouvement, et l'autre, négatif. Représentons ces couples sur le diagramme, figure 6. A droite de l'axe des ordonnées on a tracé la courbe des couples correspondant au mouvement direct (sens de rotation des aiguilles d'une montre), et à gauche, celle des couples correspondant au mouvement inverse de l'induit. Les deux courbes doivent naturellement se raccorder l'une avec l'autre, puisque l'induit est un système symétrique par rapport aux deux champs tournants. Il en

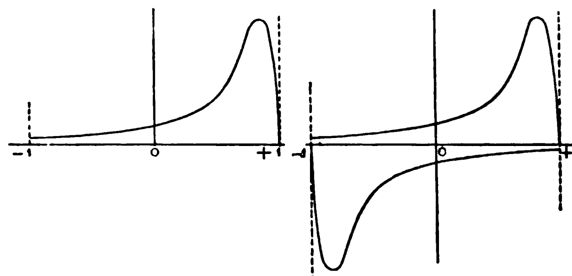


Fig. 5 et 6.

résulte immédiatement que, au repos, le moteur n'est soumis à aucun couple, puisque leurs deux valeurs individuelles s'annulent mutuellement. et que, une fois en mouvement, il peut tourner à volonté dans un sens ou dans l'autre, ce qui lui donne, à cet égard, une grande analogie, avec un moteur polyphasé. Il résulte également du diagramme que seuls les induits fermés à enroulement étendu peuvent et doivent être employés ici ; si, en effet, on prenait un induit dont le couple présentât une courbe analogue à celle de la figure 3, par exemple, on obtiendrait un diagramme du genre de celui de la figure 7 qui, comme il est facile de le voir, ne donne qu'un couple négatif.

On peut également déduire immédiatement du diagramme les différences entre le moteur alternatif simple et le polyphasé : le premier présente, à vide, plus de glissement que le

moteur polyphasé, attendu que son couple est négatif quand il marche en synchronisme; il y a également une perte beaucoup plus grande d'énergie dans l'induit du moteur alternatif simple, attendu que le champ tournant dont le sens est en opposition avec celui du mouvement effectif travaille par induction et détermine des pertes d'énergie sous forme de courants de grande fréquence (double de celle des courants alternatifs). Les courants exercent d'ailleurs sur le couple une action nuisible.

Le moteur fonctionnera dans des conditions d'autant meilleures que le glissement sera plus faible, par suite de la réduction qui en résulte dans le couple négatif. On fixe parfois une limite à cette réduction en imposant

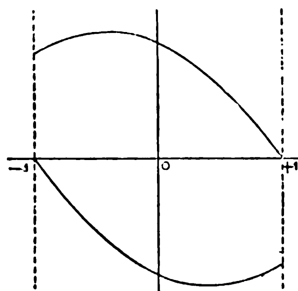


Fig. 7.

que le moteur démarre comme un moteur polyphasé. Un autre élément important d'infériorité du moteur alternatif simple réside dans ce fait que son champ oscillatoire, que nous avons imaginé résolu en deux champs tournants, est deux fois aussi intense que ses deux composants, comme on va le voir d'après la considération suivante :

Les deux champs rotatifs tournant en sens contraires se combinent, en deux points distants d'une demi-période, pour former l'amplitude du champ alternatif, tandis qu'ils s'annulent l'un l'autre en deux points distants des deux premiers d'un quart de période : chacun des deux champs rotatifs n'a en conséquence que la moitié de l'intensité du champ alternatif. Par suite un moteur à courants alternatifs simples exigera un champ deux fois aussi intense qu'un moteur polyphasé pour donner le même couple avec le même glissement, étant admises la f. é. m. de fonctionnement (f. é. m. d'un seul courant, avec les courants polyphasés) et la même puissance. Le fer du moteur alternatif simple devra dès lors être beaucoup plus énergiquement saturé, ou, comme on ne pousse généralement pas plus loin la saturation, ce moteur devra avoir des dimensions notablement plus grandes.

Bien qu'on puisse réduire le glissement en augmentant l'espace occupé sur l'induit par l'enroulement, on ne peut augmenter le couple, et le moteur alternatif simple sera ainsi toujours forcément plus grand qu'un moteur polyphasé équivalent; il présentera en même temps une perte par hystérésis à peu près double. De plus, comme conséquence de l'intensité double de champ pour le même couple, le décalage de phase sera beaucoup plus grand, comme l'a surabondamment prouvé l'expérience.

Comme on l'a vu, le fonctionnement d'un moteur alternatif simple, qui est par le fait assez compliqué, a été déduit ici d'une manière élémentaire et en même temps très nette. On ne saurait trop recommander la méthode du diagramme du couple moteur ici employée dans tous les cas où l'on cherche à mettre en évidence les propriétés relatives des moteurs alternatifs simples et des moteurs polyphasés d'une manière facilement accessible et sans mathématiques. Il en résulte également pour l'étude un mode simple de calcul des dimensions d'induits fermés pour moteurs alternatifs simples. E. B.

REVUE DES SOCIÉTÉS SAVANTES ET DES PUBLICATIONS SCIENTIFIQUES

Méthodes graphiques pour la détermination des carrés moyens, par A. Russell (¹).

Nous avons reproduit dans l'*Éclairage Électrique* du 15 juin, la méthode indiquée

(¹) *The Electrician* du 24 mai 1895.

par le professeur Fleming, pour déterminer le carré moyen des valeurs successives d'une fonction. Comme le problème se présente assez fréquemment, aussi bien en mécanique qu'en électricité, nous ajouterons aujourd'hui les deux méthodes suivantes indiquées par M. Russell

Première méthode. — Soit ORE (fig. 1) la courbe, dont les ordonnées représentent les différentes valeurs de la quantité variable. Traçons une série de droites parallèles à OX, par exemple BD. Si la courbe est dessinée sur du papier quadrillé, cette partie de la construction est inutile. Tirons BM et DN per-

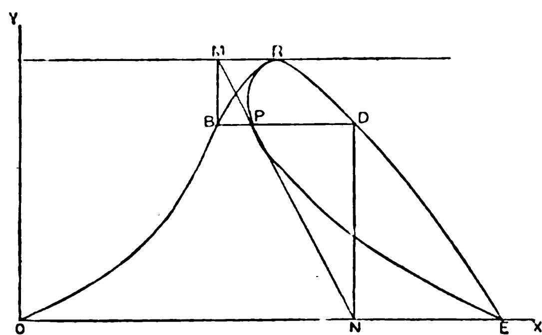


Fig. 1.

pendiculairement à OX et à la tangente au sommet de la courbe. Joignons M à N et marquons le point P d'intersection de MN avec BD. Nous trouverons ainsi une série de points sur les lignes parallèles à BD. La courbe RPE passe par tous ces points. Enfin, mesurons h, l'ordonnée maxima de la courbe; l la longueur de sa base OE; et A, l'aire de la courbe RPED.

Alors la moyenne de y^2 est

$$Y^2 = 2\frac{h}{l}A. \qquad (1)$$

En voici la démonstration :

Le volume du solide engendré par la rotation de la courbe ORE autour de OX est donné par

$$\pi\int_0^l y^2 dx.$$

et également par

$$\int_0^h 2\pi y\,\overline{BD}\,dy;$$

par conséquent

$$\int_0^l y^2 dx = 2\int_0^h y\,\overline{BD}\,dy.$$

Mais on a par construction :

$$y\,\overline{BD} = h\,\overline{PD},$$

donc

$$\int_0^l y^2 dx = 2h\int_0^h \overline{PD}\,dy = 2hA;$$

soit

$$Y^2 = \frac{2h}{l}A.$$

Deuxième méthode. — Ici, on fait usage du théorème suivant :

Si y_m est l'ordonnée moyenne de la courbe, et y l'ordonnée du centre de gravité de l'aire de la courbe, on a

$$y_m = \frac{A}{l} \quad \text{et} \quad 2y = \frac{1}{A}\int_0^l y^2 dx,$$

d'où

$$2y\,y_m = \frac{1}{l}\int_0^l y^2 dx = Y^2 \qquad (2)$$

Cette formule nous permet de calculer immédiatement la valeur du carré moyen si nous connaissons l'aire de la courbe et son centre de gravité.

Quelle que soit d'ailleurs la forme de la courbe nous pouvons toujours en déterminer expérimentalement le centre de gravité de l'aire.

Pour cette détermination, on procède ainsi. La courbe découpée dans du papier fort est piquée sur une aiguille tenue horizontalement et à laquelle est attaché un fil à plomb. On dessine sur le papier la trace du fil à plomb. Puis on choisit un autre point de suspension du papier à l'aiguille, et l'on indique par une autre droite la nouvelle trace du fil à plomb. Le point d'intersection des deux droites donne le centre de gravité.

A. H.

Sur la double réfraction des rayons électriques, par A. Righi (1).

« Dans le second fascicule des *Annales de Wiedemann*, de la présente année, se trouve

(1) *Wied. Ann.*, t. LV, p. 389; 1895.

un Mémoire de M. Mack [1] dans lequel sont décrites des expériences, montrant qu'une planche de sapin sciée parallèlement aux fibres se comporte vis-à-vis des rayons électriques comme une lame biréfringente vis-à-vis de la lumière. Ce Mémoire est daté de novembre 1894. Dès le 27 mai 1894, j'ai cependant présenté à l'Académie des Sciences de Bologne un Mémoire [2] qui se trouve aussi depuis plusieurs mois déjà dans les mains du public et dans lequel notamment aux paragraphes 41, 42 et 48 [3] je décris des expériences identiques à celles de M. Mack et quelques autres analogues. Dans ces expériences j'ai constaté la double réfraction des rayons électriques dans le bois et leur absorption différente suivant que les vibrations sont parallèles ou perpendiculaires aux fibres ; et de plus j'ai réalisé avec le bois les phénomènes de la polarisation elliptique et circulaire, en employant dans ce dernier cas une lame de bois d'épaisseur telle qu'elle se comportât comme une lame quart-d'onde. Je comparais également, comme l'a fait M. Mack, le rôle du bois plutôt à celui de la tourmaline, qu'à celui du spath ou du quartz. M. Mack a fait une expérience démontrant qu'une plaque de bois sciée perpendiculairement aux fibres ne produit pas de double réfraction. Je n'ai pas exécuté cette expérience, quoiqu'elle me fût venue aussi à l'idée, parce que le résultat qu'elle devait donner, me paraissait évident *a priori* par raison de symétrie.

« Je suis persuadé que M. Mack n'a pas encore connaissance de mon Mémoire, ou du moins qu'il n'en avait pas connaissance au moment où il a adressé son Mémoire aux *Annales* ; et je suis heureux que ces expériences confirment complètement les miennes, publiées auparavant. Je dois ajouter cependant que je ne partage pas sa confiance dans la possibilité d'obtenir la double réfraction des rayons électriques au moyen d'une lame de spath et cela pour les raisons que j'ai exposées dans mon Mémoire § 48. En tout cas, je me propose de reprendre prochainement mes expériences sur ce sujet, expériences dont j'ai longtemps été détourné par d'autres travaux ». M. L.

[1] K. Mack. — *Wied. Ann.*, t. LIV, p. 342. *Ecl. Elect.*, t. II, p. 472.

[2] Righi. — Sur les oscillations électriques à petite longueur d'onde, *Ecl. Elect.*, t. II, p. 350.

[3] *Ecl. Elect.*, t. II, p. 848 et t. III, p. 351.

Note sur les propriétés magnétiques de l'amiante, par L. Bleekrode [1].

M. Bleekrode a repris les expériences de M. Swinton sur les propriétés magnétiques de l'amiante, mais avec des appareils moins puissants, qui suffisent pour les expériences qualitatives. Un barreau aimanté dont la force portante était de 3 kg. pour chaque pôle, attirait à peine une variété verdâtre d'amiante, mais quand on plaçait à petite distance des pôles un tissu d'amiante grise (sans matière étrangère), celui-ci était attiré et adhérait au pôle comme un fil de fer fin. L'attraction était plus marquée encore sur des bandes de 40 mm. sur 3 mm. découpées dans du papier d'amiante très mince ; cette attraction se faisait déjà sentir à 1 cm. des pôles d'un aimant pouvant porter 5 kg. Ces bandes montraient une très faible polarité : cependant les extrémités attiraient inégalement les pôles d'une aiguille aimantée. Avec un électro-aimant dont la force portante était de 100 kg., l'extrémité de la bande opposée au pôle attirait la limaille. Une feuille de papier d'amiante de 15 cm. sur 15 cm. placée à une petite distance des pôles, était attirée jusqu'au contact et adhérait avec une force un peu supérieure à son poids. Les filaments ou éclats d'amiante se comportent comme la tournure de fer et, placés à 8 cm. des pôles, ils viennent au contact. M. L.

Sur la relation entre le courant photo-électrique et l'azimuth et l'angle d'incidence de la lumière, par J. Elster, et H. Geitel [2].

Les auteurs, ayant reconnu que l'intensité du courant électrique engendré en éclairant

[1] *Wied. Ann.*, t. LV, p. 398-400 ; 1895.

[2] *Berliner Berichte*, XI, p. 209, 1895.

la cathode dans un gaz raréfié dépend de l'orientation du plan de polarisation de la lumière incidente par rapport à la surface de la cathode [1], viennent de faire une étude des conditions particulières de ce phénomène, en faisant varier, comme ils l'avaient indiqué dans leur précédent travail, l'angle d'incidence ainsi que l'azimuth de la lumière polarisée.

La cathode dont ils ont fait usage est un alliage de potassium-sodium, déjà employé précédemment, renfermé dans un vase de verre sphérique, dans lequel on a fait le vide; l'anode, constituée par un fil de platine est disposée en face de la cathode. Le globe de verre a 50 mm. de diamètre, dimension suffisante pour que la surface de l'alliage (liquide à la température ordinaire) puisse être considérée en son centre comme plane. Une pureté parfaite du miroir liquide est essentielle; un rayon de lumière intense ne doit être diffusé à aucun degré par cette surface : on ne doit le percevoir que dans la direction du rayon réfléchi.

La source de courant employée est une batterie de 400 éléments, zinc-sel ammoniac-charbon donnant au total 420 volts. La lumière est fournie par un petit disque de zirconium chauffé au blanc à l'aide d'un chalumeau oxhydrique. Les rayons sont recueillis par un condenseur et rendus parallèles par une seconde lentille. Un diaphragme permet de délimiter un rayon de diamètre voulu. Lentille et diaphragme sont solidaires de la lanterne contenant la source de lumière et qui peut être tournée dans un plan vertical, de façon que le rayon incident puisse faire avec la normale des angles compris entre 90° et 40°. Pour obtenir de plus petits angles d'incidence, on réfléchit le rayon horizontal sur un miroir en argent pouvant tourner autour d'un axe horizontal.

Il était nécessaire de pouvoir s'assurer que le rayon lumineux tombait toujours au centre de la cathode. Lorsqu'il en est ainsi, le rayon doit évidemment traverser les parois opposées du globe au même niveau avant et après réflexion. En ces points, on aperçoit alors l'image de la fente du diaphragme. Un des éléments photo-électriques, spécialement employé pour les vérifications, était rempli d'alliage jusqu'à mi-hauteur. Le rayon incident passant au centre de cet élément rencontrait donc la surface du verre normalement; il s'ensuit que dans ce cas l'intensité de la lumière était la même pour toutes les positions du plan de polarisation.

Le courant engendré par l'élément était mesuré à l'aide d'un galvanomètre à miroir et échelle, dont la lampe était suffisamment éloignée pour n'avoir aucune influence sur l'élément.

Quand le rayon lumineux, après son passage au travers d'un prisme de Nicol, frappe la surface de la cathode sous un angle quelconque supérieur à zéro, on obtient une intensité de courant périodiquement variable en tournant le nicol, comme les auteurs l'avaient déjà constaté dans leurs précédentes expériences. Les maxima adviennent lorsque la section principale du nicol coïncide avec le plan d'incidence (c'est-à-dire lorsque le plan de polarisation est normal au plan d'incidence). Les minima se produisent dans les positions normales aux précédentes.

En désignant par A l'intensité du courant obtenue dans la première position, par B celle correspondant à la seconde, et par α l'angle dont on a fait tourner le prisme par rapport à sa première position, on peut exprimer l'intensité variable du courant par la formule

$$I = A \cos^2\alpha + B \sin^2\alpha.$$

Dans le cas des angles d'incidence inférieurs à 40°, obtenus par réflexion sur un miroir d'argent, la méthode est moins bonne, à cause d'une légère polarisation elliptique de la lumière réfléchie par le miroir. La rotation du nicol produit donc déjà par elle-même une modification dans l'intensité de la lumière

[1] L'*Eclairage Electrique* du 29 septembre 1894, p. 134.

transmise, et par suite dans celle du courant. Toutefois, à l'aide de mesures photo-électriques, les auteurs ont reconnu que cette source d'erreur a peu d'influence en comparaison des variations inévitables dans l'éclat du zirconium. Pour éliminer ces variations, on revenait à la première position, après chaque série de mesures, et l'on ne conservait que les séries pendant lesquelles la valeur A n'avait pas changé.

Suivant les résultats de la première étude, l'intensité du courant est proportionnelle à l'intensité lumineuse, c'est-à-dire au carré de l'amplitude. La formule donnée plus haut implique donc simplement que le rapport entre ces deux variables est différent pour la lumière polarisée soit dans un plan normal, soit dans un plan parallèle au plan d'incidence. Si a représente l'amplitude de la lumière polarisée, dont le plan de vibration (non de polarisation) fait un angle α avec le plan d'incidence, les amplitudes dans le plan d'incidence et dans un plan normal à celui-ci sont respectivement $a \cos \alpha$ et $a \sin \alpha$, et les intensités correspondantes $a^2 \cos^2 \alpha$ et $a^2 \sin^2 \alpha$. Soit x le rapport pour la première position, y pour la seconde; le courant total a alors pour valeur

$$I = a^2 x \cos^2 \alpha + a^2 y \sin^2 \alpha,$$

et le rapport $\frac{x}{y}$ est donné par le quotient $\frac{A}{B}$.

En général, les valeurs de $A = a^2 x$ et $B = a^2 y$ sont différentes; elles deviennent égales seulement pour les plus petits angles d'incidence. La première valeur augmente d'abord rapidement avec l'angle d'incidence jusqu'à ce que celui-ci ait atteint environ 60°, après quoi elle diminue. B décroît continuellement à mesure que l'angle croît, et pour un angle compris entre 50 et 65° le rapport $\frac{A}{B}$ devient environ $\frac{50}{1}$.

La détermination précise de l'angle pour lequel l'intensité du courant engendré par la lumière polarisée normalement au plan d'incidence est maxima est accompagnée de grandes difficultés, principalement dues aux variations de la source de lumière. Les valeurs trouvées pour cet angle varient entre 58° et 66°.

Les auteurs considèrent comme probable que l'effet photo-électrique plus intense de la lumière polarisée normalement au plan d'incidence est lié avec le fait découvert par Quincke (1), que cette lumière pénètre mieux dans des couches métalliques que la lumière polarisée parallèlement au plan d'incidence.

Si nous considérons un rayon de lumière naturelle comme composé de deux rayons polarisés normalement l'un par rapport à l'autre et d'intensité moitié de l'intensité totale, nous devons conclure que par suite de l'effet plus grand de la composante normale au plan d'incidence, la lumière naturelle doit également donner un courant maximum sous un angle d'environ 60°. Cette conclusion est confirmée par l'expérience.

Il est naturel de supposer que cet angle d'incidence aux environs de 60° est aussi l'angle de polarisation de l'alliage Na — K pour les rayons électriquement actifs, principalement les rayons bleus. Les auteurs ont cherché à appliquer la méthode employée par Knoblauch dans ses recherches sur la polarisation elliptique des rayons calorifiques. Ils ont fait tomber de la lumière polarisée sous un azimuth de 45° sur la surface de l'alliage, en faisant arriver ensuite verticalement le rayon réfléchi sur la cathode en sodium d'un élément photo-électrique, après l'avoir fait passer dans un second nicol. Le second élément ne servait donc qu'à mesurer les intensités des rayons transmis par le second nicol, et prenait la place de la pile thermo-électrique dans l'expérience correspondante avec les rayons calorifiques. Des intensités trouvées pour les différents azimuths du second nicol, on pouvait déduire les axes et la position de l'ellipse de vibration de la lumière réfléchie par la surface de l'al-

(1) *Pogg. Annalen*, 129, p. 177, 1866.

liage. L'angle de polarisation se vérifiait par le fait que le rapport des axes est le plus près de l'unité, quand la direction du grand axe est normale, et celle du petit axe parallèle au plan d'incidence. L'expérience a montré que ces caractéristiques se présentent pour un angle d'environ 65°, mais il faut observer que ce n'est là qu'une approximation assez grossière. Il semble, toutefois, n'y avoir aucune contradiction avec la supposition que le maximum du courant photo-électrique se produit avec la lumière polarisée normalement au plan d'incidence, lorsque le rayon frappe la cathode sous l'angle de polarisation.

Tous ces résultats concernent la surface libre de l'alliage sodium-potassium, à poids équivalents, alliage liquide aux températures ordinaires.

A. H.

Action des courants électriques internes sur l'aimantation du fer, par le Dr J. Hopkinson (1).

L'explication des particularités de ces courbes ne peut encore être donnée que d'une manière très générale. Il faut d'abord se reporter à un diagramme (fig. 9) montrant ce que l'on connait comme courbes cycliques d'aimantation. L'induction y est portée en ordonnées et la force magnétisante en abscisses. On voit que, pour une faible force magnétisante, le rapport de l'induction à la force magnétisante est également peu élevé ; quand la force magnétisante augmente, ce rapport va aussi en augmentant pendant un certain temps, mais finalement il s'affaiblit de nouveau. On remarque en outre que, pour une grande force magnétisante, la variation de la courbe d'aimantation commence par être faible, pour prendre ensuite de l'importance et retomber finalement à une petite valeur. Mais la lenteur des variations d'induction dépend de la grandeur du rapport de l'induction à la force magnétisante, et, par suite, on doit s'attendre à avoir des variations relativement rapides quand ce rapport est peu élevé, et des variations plus lentes quand ce rapport est plus grand. C'est exactement ce qu'on a vu. Pour une faible force magnétisante, le changement se manifeste presque immédiatement ; pour une force magnétisante intermédiaire, le maximum principal se présente beaucoup plus tard, et, pour une force magnétisante élevée, il va constamment en s'accélérant au fur et à mesure que cette force augmente. La première ascension qui se manifeste avec une grande force magnétisante est due à la première portion de la courbe d'induction, où les variations d'induction sont relativement faibles et dont les effets se produisent, en conséquence, rapidement. Ce premier maximum est suivi d'une période de calme relatif, à laquelle succède un

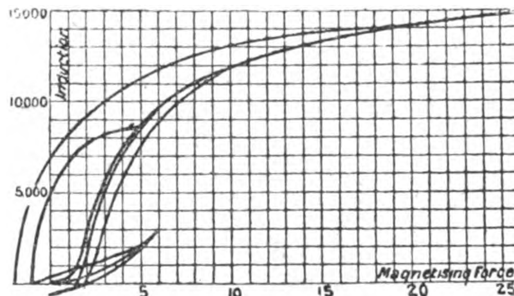


Fig. 9.

second et important maximum déterminé par l'effet des grandes variations d'induction qui se sont produites mais qui se sont manifestées relativement lentement ; puis, finalement, le changement tombe tout à fait brusquement à zéro en raison de la rapidité avec laquelle la dernière partie de la variation s'est effectuée et a agi sur les parties qui se sont présentées avant elle.

Ces phénomènes de temps suivant lesquels ont lieu les variations d'induction dans les noyaux d'électro-aimants sont tout à fait analogues au retard des signaux sur les câbles sous-marins. Chacun sait que, si une pile est reliée à un de ces câbles et qu'on renverse brusquement les connexions, le courant ne se renverse pas immédiatement sur toute la longueur du câble ; il faut un certain temps pour que le résultat en soit perceptible à

---

(1) Voir l'*Eclairage Electrique* du 3 août

l'autre extrémité. Ce retard des signaux, suivant l'expression reçue, augmente rapidement avec la longueur du câble. La figure 10 représente deux courbes d'arrivée du courant dans un câble, les intensités étant portées en ordonnées et les temps en abscisses. L'une des courbes correspond à un câble de longueur double de celui auquel se réfère la seconde ; le câble le plus long est celui pour lequel les abscisses s'allongent relativement aux ordonnées. Mais tout ce qu'on peut tirer de ces courbes, c'est que, plus le câble est long, plus les effets d'inversion mettent de temps à se manifester au point d'arrivée.

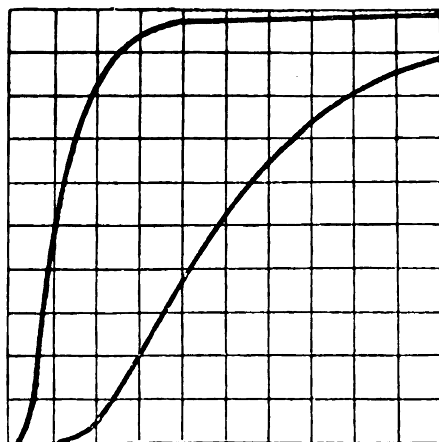


Fig. 10.

Pour les rendre plus comparables à ce que donnent les expériences magnétiques ci-dessus, il faut recourir à une courbe dont les coordonnées soient inversées et où les abscisses représentent, non plus les intensités, comme les ordonnées précédentes, mais les variations du courant, les temps étant portés en ordonnées. C'est ce que donne la figure 11. Cette courbe présente une grande ressemblance avec la courbe magnétique pour le courant le plus faible.

La similitude de ces courbes indiquée par la figure 12 suffit pleinement à donner l'idée d'une réelle analogie entre les deux phénomènes. On peut d'ailleurs faire cette constatation directement à l'aide d'appareils tels qu'un syphon-recorder de lord Kelvin et un câble artificiel tels que ceux existants à la bibliothèque de l'Académie royale de Londres et qui permettent de prendre des observations soit de l'extrémité soit du milieu du câble.

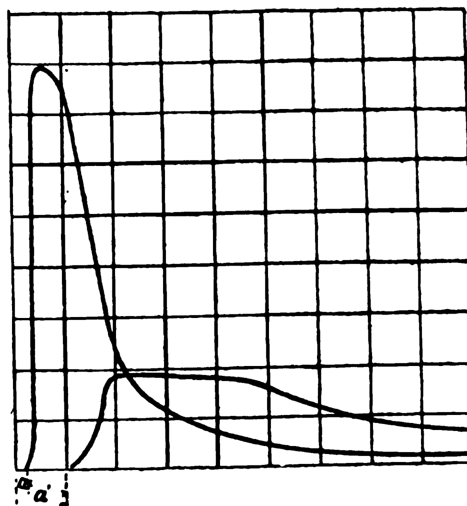


Fig. 11.

Les expériences magnétiques telles que les précédentes ont en réalité de vastes applications. Elles ne sont pas limitées aux dimensions particulières du cylindre sur lequel elles

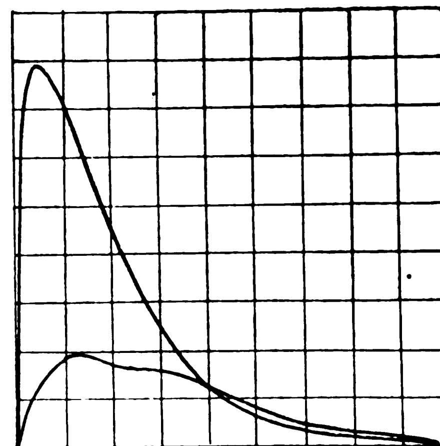


Fig. 12.

ont été faites. Que ce cylindre soit plus grand ou plus petit, on constate les mêmes phénomènes magnétiques ; mais ils se manifestent à des périodes plus courtes ou plus longues en raison directe du carré des dimensions linéaires des cylindres, c'est-à-dire de leurs

sections. On peut en conséquence hardiment inférer de là ce qui se produirait avec des noyaux magnétiques de dimensions trop faibles pour rendre l'expérience possible, ou si grandes que la construction en serait trop coûteuse. Supposons, par exemple, un noyau formé de fils de 0,25 mm. de diamètre ; on peut admettre que tout se passerait de même avec des courants identiques autour du noyau, mais 1 440 000 fois plus rapidement ; avec une force magnétisante de 24 unités C. G. S. tous les phénomènes s'accompliront au centre du noyau par un renversement du courant en $\frac{1}{40\,000}$ de seconde.

Ces résultats s'appliquent très pratiquement aux noyaux de transformateurs; mais ici, au lieu d'un brusque renversement du courant magnétisant, on a affaire à un courant passant continuellement du positif au négatif et du négatif au positif. Il est facile de reproduire ces conditions à une échelle de laboratoire; la figure 13 donne la disposition de l'expérience. On y voit la source d'énergie électrique marquée « dynamo », puis les résistances de régulation du courant marquées « rhéostat », et enfin un inverseur à liquide destiné à renverser progressivement le sens du courant. Il est formé de deux lames de cuivre auxquelles arrive ce courant et de deux autres lames mobiles tournant entre les précédentes et reliées à l'électro-aimant et dont les bobines secondaires ne sont pas représentées sur le schéma. Une seule bobine au milieu de l'électro-aimant est mise en connexion. Si l'on tourne rapidement l'inverseur, les variations d'induction diminuent beaucoup ; l'induction au centre du noyau n'est en réalité que peu affectée par les changements de courant dans les bobines magnétisantes. En opérant avec trois bobines au lieu d'une seule, on verrait que la diminution de perturbation par accroissement de vitesse est moindre pour la bobine n° 2 que pour le n° 1, et qu'elle disparaît complètement avec le n° 3 ; on voit en outre que le courant dans la bobine n° 2 est en retard sur celui du n° 3 et celui du n° 1 en retard sur celui du n° 2. Le contraste apparaît d'une façon plus sensible avec un transformateur à noyau lamellé. Si l'on tourne l'inverseur, d'abord lentement, puis plus vite, on voit la déviation augmenter, au lieu de diminuer, comme cela a lieu avec la bobine centrale de l'électro-aimant massif.

Ces expériences sont d'une application immédiate aux noyaux de transformateurs et de dynamos; elles montrent si pratiquement les constructeurs ont à peu près assez et pas trop divisé le fer.

Les courbes suivantes sont empruntées à un

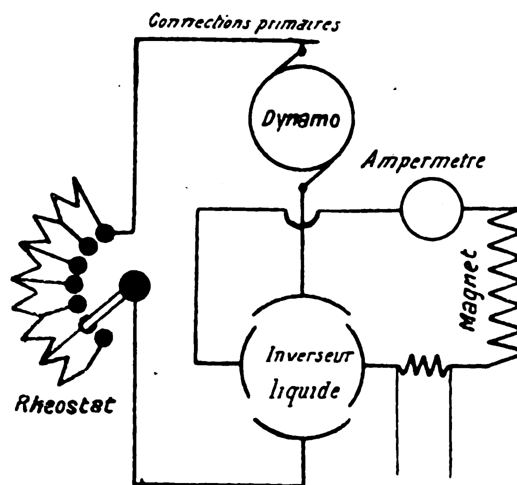


Fig. 13.

Au lieu de Connections, lire Connexions.
— Ampermètre, — Ampèremètre.
— Magnet, — Electro-aimant.

Mémoire du professeur Ewing et obtenues avec l'appareil imaginé par lui pour le tracé des courbes exprimant la relation entre l'induction et la force magnétisante dans le fer. Ces courbes ont été relevées sur des échantillons de fer massif, c'est à dire sans discontinuité et non lamellé en vue d'annuler les courants susceptibles de s'y développer. La première (*a*, fig. 14) donne le résultat d'un cycle parcouru très lentement et fournit la véritable courbe d'aimantation. La courbe *b* correspond à un cycle effectué en trois secondes : l'amplitude de l'induction est moindre que précédemment; enfin la courbe *c*, pour laquelle la durée de parcours du cycle n'a été que de 0,6

seconde, présente une amplitude encore beaucoup moindre. Ce résultat est dû à ce que les variations d'induction au milieu du fer sont peu sensibles et que l'effet total en est sensiblement amoindri.

Le diagramme fig. 15, se rapporte à l'acier.

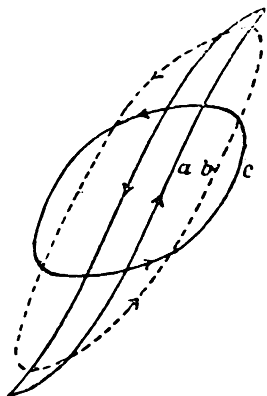


Fig. 14.

On a en *a* la courbe naturelle d'induction; *b* correspond au cas d'une période cyclique de trois secondes ; et *c*, à une période de 0,4 seconde. Les courbes telles que celles-ci donnent immédiatement les effets moyens sur toute la masse du fer. Celles données antérieurement indiquent les effets particuliers en différents points de la masse.

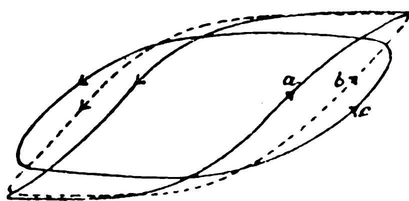


Fig. 15.

Comme conclusion de cette communication faite à l'Académie royale de Londres, le Dr Hopkinson, lui-même, se laisse aller comme il le dit à une spéculation quelque peu extravagante, non pas qu'il lui attribue aucun fondement, mais parce qu'elle est curieuse : — Supposons, dit-il, un électro-aimant construit exactement comme un de ceux sur lesquels ont porté les expériences ci-dessus, mais ayant les dimensions de la terre, et admettons qu'un puissant électricien développe dans ses spires un courant assez intense pour y créer une force magnétisante de 2,5 unités C. G. S., puis qu'il le renverse; il faudra plusieurs millions d'années pour que la variation de perturbation au centre atteigne sa valeur maxima. D'où cette question spéculative : ne peut-on concevoir le magnétisme de la terre comme dû à des courants dans sa substance, entretenus par ses variations d'induction mais disparaissant lentement?

E. B.

Les limites d'exactitude et le degré de précision actuels de la mesure de la résistance électrique, par Herschel. C. Parker.

La science est arrivée aujourd'hui à déterminer avec un haut degré d'approximation, dans des limites très étendues et sur une grande continuité de cette plage, les grandeurs des quantités physiques; mais, à ce triple point de vue, la mesure de la résistance électrique peut, à bon droit, revendiquer la première place.

Des considérations théoriques et pratiques permettent d'en fixer les limites extrêmes à un dix-millionième d'ohm (1×10^{-7}) pour les plus faibles résistances, et 10 millions de millions d'ohms (1×10^{13} ohms, ou 1×10^{22} unités C. G. S.) pour les plus élevées, ce qui représente entre elles un écart de 1 à 100 millions de millions de millions (1 à 1×10^{20}). Il ne faut pas d'ailleurs perdre de vue que les mesures en sont continues et régulières sur toute l'étendue de cette vaste échelle; elles se prennent facilement en tous ses points avec une précision qui varie de 1 à 0,1 p. 100. On ne rencontre quelques difficultés qu'au voisinage des limites extrêmes; la limite inférieure dépend de la sensibilité du galvanomètre et du courant qu'on peut utiliser; la limite supérieure est fonction, indépendamment de la sensibilité du galvanomètre, de la f. é. m. employée et de l'isolement des appareils.

Pour donner une idée de l'ordre et de l'écart

des grandeurs sur lesquelles on opère, il est bon d'établir des comparaisons avec d'autres grandeurs physiques plus universellement connues. Ainsi, la longueur d'onde de la lumière du sodium est de $5,9 \times 10^{-7}$ m.; la distance de la terre au soleil est de $1,5 \times 10^{11}$ m. Le rapport de ces deux grandeurs est de 1 à $2,5 \times 10^{17}$. Par suite, l'écart de 1 à 10^{20} entre les limites extrêmes des résistances électriques mesurables est le même que celui qui existe entre la longueur d'onde du sodium et 400 fois la distance de la terre au soleil, c'est-à-dire égal au rapport de 0,00059 mm., à une distance que la lumière mettrait plus de deux jours à franchir. On peut d'ailleurs parcourir tous les degrés de l'échelle, et, étant donnée une barre de cuivre dont la section droite est de 1,5 cm^2, on peut en prendre la résistance sur des longueurs variant de 1 mm. à 10^{17} mètres, étendue correspondant à la distance que mettrait dix ans à parcourir l'énergie radiante se propageant avec la vitesse de la lumière.

On trouve bien dans la détermination de la masse un cas analogue, entre 0,00001 gramme donné par les balances les plus sensibles et 10^{12} kilogrammes que l'on peut mesurer (soit environ un billion de tonnes); mais la mesure directe ne dépasse pas ces limites extrêmes, et le calcul seul permet d'évaluer la masse de la terre qui est, par rapport au gramme dans le rapport de 10^{27} à 1.

Quant aux longueurs, on peut aisément déterminer les longueurs des ondes lumineuses et calculer avec exactitude les distances des étoiles; mais il n'existe guère de méthodes de laboratoire permettant, à beaucoup près, l'appréciation réelle de la grande majorité des distances intermédiaires.

La mesure de la résistance électrique s'effectue, au contraire, d'une façon continue entre les limites extrêmes, si écartées qu'elles soient, ci-dessus signalées, à l'aide d'une des principales méthodes suivantes. — Pour des résistances variant de 0,01 ohm à 1 000 000 d'ohms, on a la méthode du pont de Wheatstone universel. — Pour les faibles résistances, on est obligé de recourir à des méthodes indépendantes des conducteurs et des contacts; on est ainsi conduit à mesurer la chute de potentiel, en évitant toute erreur possible par variations du courant. On peut y arriver ainsi : transversalement à la barre de cuivre dont on cherche la résistance, on monte un galvanomètre d'Arsonval ou Thomson, et, en série avec la faible résistance, un ampèremètre. Si l'on suppose alors que l'on prenne simultanément les lectures sur le galvanomètre et l'ampèremètre, et que l'intensité mise en œuvre soit de 10 ampères, on a $R = \frac{E}{10}$.

Il faut naturellement étalonner préalablement en fractions de volt la valeur d'un degré de l'échelle du galvanomètre. Or un galvanomètre de Thomson de 10 000 ohms de résistance peut avoir une figure de mérite de 50 000 unités C. G. S. Par suite, une déviation d'un degré correspond à une différence de potentiel de 0,000 000 2 volt entre ses bornes, et R sera égale à $\frac{0\,000\,000\,2}{10} \times$ la déviation. En employant un galvanomètre d'Arsonval dont la figure de mérite est de 500 unités C. G. S. et la résistance de 500 ohms, on aura 0,000 001 volt pour un degré de déviation. On peut également déterminer d'une façon très satisfaisante les basses résistances par la méthode du double pont de Thomson. — Pour les résistances très élevées on dispose de la méthode ordinaire de la déviation : avec un galvanomètre ayant une figure de mérite de 50 000 unités C. G. S et une f. é. m. de 200 volts, on arrive à une constante de 10 000 000 unités C. G. S. Il est à peine nécessaire de rappeler que cependant on est réellement limité dans la mesure par l'isolement de l'appareil.

On arrive à la plus grande précision dans la comparaison d'ohms étalons à l'aide de la méthode Carey-Foster, qui permet d'atteindre dans les résultats une concordance allant jusqu'à 0,01 p. 100. Or, dans la grande majorité des mesures de résistance, on n'a pas besoin d'une exactitude de plus de 1 p. 100, bien qu'un habile opérateur puisse couramment arriver à mieux.

Les limites de mesures ci-dessus données correspondent à l'état actuel de la science; mais il est probable que l'emploi de méthodes spéciales permettra d'aller encore beaucoup plus loin.

E. B.

CHRONIQUE

Laboratoire Central d'Electricité (1).

12 et 14, rue de Staël.

ÉCOLE D'APPLICATION

Les examens d'admission auront lieu dans le courant du mois d'octobre.

Les candidats doivent se faire inscrire avant le 15 octobre.

L'examen portera sur les matières suivantes :

Physique. — La physique générale (thermodynamique, acoustique, optique, capillarité). En électricité, les matières du programme de la licence physique.

Chimie. — Chimie élémentaire.

Mathématiques. — La trigonométrie, l'algèbre, la géométrie analytique pourront être demandées avec tout le développement que comporte le programme de mathématiques spéciales.

Analyse : Applications géométriques du calcul différentiel. Rayon de courbure. Rayon de torsion. Courbure d'une surface. Théorème de Meusnier.

Différentiation et intégration sous le signe $\int$. Calcul des variations.

Séries de Fourier et de Lagrange.

Eléments du calcul des différences.

Intégration des équations différentielles partielles (généralités).

La théorie des erreurs est faite dans le cours d'électrométrie.

Mécanique : 1° Cinématique du point, d'un corps solide. Statique du point et des systèmes matériels. 3° Dynamique du point et des systèmes hydrostatique et hydrodynamique.

Peuvent être dispensés d'examen : les anciens élèves diplômés des Ecoles polytechnique, Centrale, des Mines de Paris, des Ponts et Chaussées, les licenciés ès sciences physiques ou mathématiques.

Les candidats qui désireraient profiter de la dispense d'examen sont invités à se faire inscrire dans un bref délai.

Frais à prévoir. — Redevance annuelle probable de 300 francs pour l'année 1895-96.

Les auditeurs libres devront verser une redevance de 50 francs pour chaque cours suivi.

Ajoutons qu'aux derniers examens de sortie, MM. Boulardet, Coster, Durand, Fournaraki, Lefèvre, Revel, Tenin, Vasesco, ont obtenu le diplôme d'ingénieur.

La traction électrique à Berlin. — L'autorisation vient d'être accordée pour l'établissement d'un tramway électrique à fil aérien dans la capitale allemande. La concession a été accordée par les autorités municipales à la maison Siemens et Halske.

Utilisation des forces hydrauliques du Mississipi. — Suivant l'*Electrical Engineer*, de New-York, le projet de la construction d'un grand barrage sur le Mississipi à Minneapolis, discuté depuis un quart de siècle, entre enfin dans la voie de la réalisation. Ce barrage sera élevé par le Pillsbury-Washburn English Syndicate.

Son but est d'utiliser la puissance depuis si longtemps perdue à alimenter d'énergie électrique toute la ville de Minneapolis. Le barrage et l'usine coûteront environ 5 millions de francs et fourniront une puissance de 10 000 chevaux. L'usine comportera 40 turbines groupées par 4. En temps de sécheresse les moulins de la ville sont obligés actuellement de recourir à la vapeur. La nouvelle entreprise assurera de la force motrice à bon marché pour tous les besoins de cette grande cité.

Perceuse mobile électrique. — La Compagnie des tramways électriques de Glens Falls (N. Y.) a fait construire une perceuse électrique portative pour percer dans les rails les trous nécessaires à l'éclairage électrique. Le moteur, d'une puissance de un demi-cheval, est actionné par le courant de la ligne et le retour du courant se fait par la terre. On peut percer un trou par minute à peu près; l'appareil très simple est peu coûteux, en sorte que l'économie réalisée est assez considérable.

(1) Voir l'*Eclairage Electrique*, du 20 juillet, p. 151.

L'Utilisation des chutes du Niagara. — La première transmission d'énergie électrique pour des usages industriels, à Niagara, a été faite le lundi 1er juillet dernier, par la conduite souterraine, à une usine située à un mille de distance. Quatre mille chevaux ont été transmis à une fabrique d'aluminium. D'après *Engineering* à qui nous empruntons ce signalement, on s'attend à un développement rapide important des opérations de la Niagara Power Company. Nous aurons bientôt occasion de revenir sur cette entreprise remarquable et de donner, dans un tableau d'ensemble, la description de l'œuvre accomplie.

Les tramways électriques et les chemins de fer. — Loin de faire une concurrence nuisible aux chemins de fer, les tramways électriques peuvent, dans certains cas, leur rendre de réels services, comme vient de le prouver, en Amérique, la Pennsylvania Railroad Company, qui a fait établir des lignes de tramways électriques pour réunir certains villages à ses lignes; les lignes de chemin de fer qui jusqu'à présent ne donnaient que des résultats financiers négatifs donneront maintenant de bons résultats; les tramways électriques qui serviront à les alimenter donneront aussi des bénéfices. La première ligne ainsi créée est celle de Mount Holly qui a 11 kilomètres environ de longueur. Dans quelques expériences préliminaires, on a pu obtenir, avec une ligne à trôlet, une vitesse de 67 kilomètres à l'heure ; la même voiture motrice remarquant deux wagons a pu atteindre une vitesse de 48 kilomètres à l'heure.

Communications téléphoniques dans les fermes. — Un journal quotidien de l'Etat Iowa, dans l'Amérique du Nord, nous apprend que des fermiers, de Webster City, ont essayé avec plein succès de se mettre en communication téléphonique entre eux en utilisant simplement pour conducteurs les fils de fer barbelés qui clôturaient leurs champs.

Les rats électriciens. — Après les chats et les chiens, voici les rats qui « entrent dans la carrière », d'après un « tuyau » qui nous vient en droite ligne de Chicago. Ces rats savants ont été présentés par le professeur S.-P. Langley en personne. Voici dans quelles circonstances : des ouvriers établissaient une conduite souterraine entre le bâtiment principal et le laboratoire; ils avaient enterré les tuyaux en poterie qui devaient protéger les câbles, en ayant soin de passer une corde dans ces tuyaux au fur et à mesure de la pose afin de pouvoir ensuite passer les conducteurs. La corde fut prise dans le ciment qui reliait les différents tronçons de la conduite et se cassa. Les ouvriers se préparaient à défaire toute la conduite lorsque M. Langley leur dit de prendre un rat, de lui attacher un fil à la queue et de le lancer dans la conduite. Ce qui fut fait et permit d'achever le travail sans encombre.

Yacht électrique de 47 pieds. — M. John Jacob Astor, le célèbre millionnaire américain a fait récemment construire par la Electric Launch Company, de New-York, un yacht électrique qui mérite une courte description.

Cette embarcation, luxueusement aménagée, a 14,50 m. environ de longueur, et 63,5 cm. de tirant d'eau aux hélices. L'équipement électrique comprend deux moteurs attaquant chacun une hélice, par des arbres en bronze avec paliers à billes. Chacun d'eux a sa batterie séparée d'accumulateurs et son contrôleur particulier. Les deux contrôleurs sont placés près de la roue du gouvernail, à l'avant. Les accumulateurs, au chlorure de plomb, sont placés sous le plancher et sous les sièges. Il y a, en tout, 168 éléments d'une capacité de 150 ampères-heure chacun; la puissance maxima est de 10 chevaux en service courant, mais peut atteindre 30 chevaux pendant de courts intervalles. Le chargement de la batterie demande de cinq à sept heures, et coûte environ 4,25 fr. par heure. On peut obtenir une vitesse de 24 km. par heure sur de faibles parcours avec la batterie nouvellement chargée. Dans des conditions normales, la batterie permet d'effectuer un parcours total de 120 km.

Vitesse des trains électriques. — La traction électrique a été essayée dernièrement sur un embranchement de la ligne de chemin de fer du New-York, New-Haven and Hartford Railroad, connu sous le nom de Nantucket Beach Branch. La vitesse a atteint 128 km. à l'heure pendant un parcours de près de 5 km.; l'échauffement d'une boite à graisse a empêché de poursuivre l'essai. La voie, avec rails de 35 kg. au mètre linéaire, est ancienne. Nous ne connaissons pas le poids remorqué.

Visibilité des lumières. — D'après quelques expériences récentes faites par les gouvernements américain, allemand et néerlandais, brièvement résumés dans *Engineering News*, du 13 juin, une source de lumière blanche, de l'intensité d'une bougie, est visible à un peu plus que 1 mille (1600 mètres); et une de trois bougies, à 2 milles (3 200 mètres). Par une nuit exceptionnellement claire, une lumière de 3,2 bougies, fut facilement distinguée à 3 milles, soit près de 5 kilomètres, une de 5,6 bougies, à 4 milles et une de 12,2 bougies, à 5 milles (8 kilomètres). Avec des lumières rouges on obtint les résultats suivants :

Une lumière de	2 bougies	fut visible à	1	mille.
»	15	»	2	»
»	51	»	3	»
»	106	»	4	»

Statistique des tramways électriques en Amérique. — Nous avons publié dans le n° 7 (16 février 1895, p. 31), la statistique des tramvays électriques en Amérique. Les chiffres suivants, empruntés au *Street Railway Journal*, montrent avec quelle rapidité la traction électrique se développe au delà de l'Atlantique; ils complètent, en outre, cette statistique par quelques données précédemment négligées.

Il y a actuellement dans les Etats-Unis, 976 lignes de tramvays exploitant 21 174 kilomètres de voie simple; ces chiffres se répartissent comme suit, entre les différentes contrées et les différentes modes de traction.

TABLEAU STATISTIQUE DES TRAMWAYS EN AMÉRIQUE.

	NOMBRE de lignes	SYSTÈME DE TRACTION animale km	électrique km	funiculaire km	divers km	total km	NOMBRE de voitures
Nlle Angleterre	104	269	2 227			2 496	5 519
Etats de l'Est .	305	907	5 103	251	302	6 563	16 001
— du Centre	278	888	5 725	403	215	7 231	16 936
— du Sud .	111	343	1 189	3	341	1 881	1 930
— de l'Ouest	178	656	2 338	347	229	3 57[illegible]	[illegible]
	976	3 063	16 582	1 009	1 087	21 71[illegible]	[illegible]
Canada. . . .	32	69	623			[illegible]	1 011
Total 1895 . .	1 008	3 132	17 205	1 009	1 087	[illegible]	[illegible]
— 1894 . .	»	3 589	14 413	1 059	982	[illegible]	[illegible]
Augmentation en 1895. . .	»	»	2 792	»	105	2 390	4 088
Diminution. .	»	457	»	50	»	»	»

Le capital engagé est évidemment plus considérable pour les lignes à traction mécanique; il varie entre 50 000 fr. (Floride) et 1 035 500 (New-York) par mille de voie.

Les chiffres de statistique moyenne que nous avons sous les yeux ne présentent donc qu'un intérêt tout relatif; nous n'y insisterons pas.

Les noces d'or du télégraphe électrique en France. — Les journaux quotidiens signalent cette date dans les termes suivants :

« Il y a eu le 14 juillet dernier cinquante ans qu'eurent lieu les premières transmissions de dépêches qui aient été faites en France par le télégraphe électrique. Les fils de cette doyenne de nos lignes télégraphiques étaient posés le long du chemin de fer de Paris à Mantes.

« Les courants électro-magnétiques, déclare avec admiration un reporter du temps, ont parfaitement voyagé et ont produit les signaux de toute une correspondance en quelques minutes avec la rapidité de l'éclair ! »

Quelques années plus tard, l'Europe entière était couverte d'un immense réseau télégraphique consécration de ces premiers essais.

Frein électrique pour volants. — Le volant des machines est une source perpétuelle d'accidents. Il est naturel d'essayer d'en diminuer la fréquence par l'emploi de dispositifs électriques. Le *Praktische Maschinen Constructeur* nous en donne une formule qui est à enregistrer.

Le frein électrique se compose d'un dispositif de démarrage et de débrayage. Sur deux chaises, on a fixé les bandes en acier du frein; ces bandes sont munies de fourches permettant le passage de la courroie. Le dispositif de démarrage peut être mis en action au moyen d'un courant électrique venant de n'importe quel coin de l'atelier.

Nos associations contre les accidents de travail doivent certainement avoir connaissance de dispositifs analogues qui sont à vulgariser : il ne s'agit que d'en signaler aux industriels le principe et l'utilité.

L'Éditeur-Gérant : GEORGES CARRÉ.

Paris. — Imprimerie L. MARETHEUX, 1, rue Cassette.

Tome IV. Samedi 17 Août 1895. 2e Année. — N° 33.

L'Éclairage Électrique

REVUE HEBDOMADAIRE D'ÉLECTRICITÉ

DIRECTEUR SCIENTIFIQUE : J. BLONDIN

SECRÉTAIRE DE LA RÉDACTION : G. PELLISSIER

LE CONGRÈS DE BORDEAUX
DE L'ASSOCIATION FRANÇAISE
POUR L'AVANCEMENT DES SCIENCES

Le Congrès annuel de l'Association française pour l'avancement des sciences présentait cette année une importance particulière tant par le nombre et l'intérêt des communications annoncées que par le choix de la ville où elles devaient être faites.

Le programme général, que nous reproduisons ci-dessous, montre d'ailleurs que les organisateurs ont su mêler l'agréable à l'utile et couper les séances de section par des excursions et des visites intéressantes.

Dimanche 4 *août.* — A trois heures, séance d'ouverture dans la salle des fêtes, à l'Athénée, rue des Trois-Conils sous la présidence de M. Trélat, professeur honoraire au Conservatoire des Arts et Métiers, directeur de l'École spéciale d'agriculture, député de la Seine.

Lundi 5 *août.* — Le matin et l'après-midi, séances de sections. Dans l'après-midi, visite de l'Exposition organisée par la Société philomathique.

Mardi 6 *août.* — Le matin et l'après-midi, séances de sections. Dans l'après-midi, visites scientifiques et industrielles. Le soir, conférence par M. Th. Labat, ancien ingénieur de la marine, député de la Gironde : *La circulation de la richesse et l'impôt.*

Mercredi 7 *août.* — Excursion générale dans les grands crus bordelais.

Jeudi 8 *août.* — Le matin et l'après-midi, visites scientifiques et industrielles. Le soir, réception par la municipalité, à l'Hôtel de Ville.

Vendredi 9 *août.* — Le matin et dans l'après-midi, séances de sections. Dans l'après-midi, visites scientifiques et industrielles. A quatre heures, assemblée générale et séance de clôture.

Samedi 10 *à jeudi* 15 *août.* — Deuxième excursion générale et excursion finale : Arcachon, Dax, Bayonne, Biarritz, Fontarabie, Saint-Sébastien, Bilbao.

Parmi les communications faites aux séances de section, un assez petit nombre intéressent les électriciens. Nous rendons compte plus loin des communications de ce genre qui ont été faites à la section de physique, présidée par M. Gossart, maître de conférences à la Faculté des sciences de Bordeaux, chargé du cours d'électricité industrielle, à qui nous adressons, ainsi qu'au secrétaire de la section, le Dr Sigalas, professeur agrégé à la Faculté de médecine, nos sincères remerciements pour les renseignements qu'ils nous ont donnés.

Trois autres communications, concernant aussi l'électricité, ont été faites devant la section de physique et la section des sciences médicales réunies ; elles ont pour titres :

Excitateur statique inverseur ; interrupteur-inverseur rapide pour usages médicaux, par M. Debedat.

Sur un nouvel interrupteur rhéostatique et la forme des excitations qu'il produit, par M. Bergonié,

La mort par l'électricité, par M. Darin,

et seront analysées très prochainement par le Dr Guilloz, chef des travaux du laboratoire de physique de la Faculté de médecine de Nancy.

Une question des plus intéressantes pour les électriciens était proposée à la discussion de la section du génie civil: c'est celle de la *traction mécanique des voitures et des tramways*. Notre collaborateur, M. G. Pellissier, a bien voulu se charger de suivre cette discussion à laquelle il a pris une part active. Il en rendra compte à nos lecteurs dans un prochain numéro, ainsi que de l'installation du tramway électrique de Bordeaux au Bouscat, construit par la Société Thomson-Houston. Disons cependant immédiatement qu'il est regrettable que toutes les Sociétés de traction mécanique de tramways ne se soient pas fait représenter; l'intérêt de cette discussion eût été beaucoup plus considérable.

Ajoutons que M. Helmer, de la maison Cail, présentait, par l'intermédiaire de M. Georgel, aux sections du génie civil et de physique réunies, la description d'un nouveau modèle d'alternateur-volant exposé dans la station centrale de l'Exposition. La description de cet alternateur sera donnée très prochainement par M. Pellissier, ainsi que la description de la station centrale de l'Exposition et des nombreuses stations centrales qui assurent l'éclairage électrique, particulier et public, de Bordeaux.

COMMUNICATIONS FAITES A LA SECTION DE PHYSIQUE

1° Etude critique des accumulateurs au plomb. — Description de l'accumulateur à navettes de M. René Blot, par M. G. Margaine, chef des travaux au laboratoire central d'électricité.

Dans la première partie de sa communication, l'auteur cherche à montrer que les accumulateurs à oxydes rapportés sont inférieurs aux accumulateurs genre Planté comme durée et comme capacité.

Les accumulateurs à oxydes rapportés quels qu'ils soient (pastilles ou alvéoles ordinaires) sont, dit-il, rapidement mis hors d'usage par suite de l'hétérogénéité électrique du système. Les déformations mécaniques que l'on y constate tiennent essentiellement au contact toujours imparfait de l'électrode et de l'oxyde rapporté. Ce défaut de contact augmente nécessairement avec le temps par suite des travaux différents qu'ont à subir la matière active et le support de plomb. En outre il se forme entre ce support et le peroxyde des bulles gazeuses, mauvaises conductrices de l'électricité, qui active leur séparation.

Un autre reproche que l'auteur adresse aux accumulateurs à oxydes rapportés est la mauvaise utilisation de la couche d'oxyde. Suivant Faure lui-même, une épaisseur de 0,5 mm. sur une couche de 5 mm. d'oxyde participe aux réactions électrolytiques, de sorte que 90 centièmes de la matière dite active ne sont en réalité d'aucune utilité pour la capacité de l'accumulateur.

Dans les accumulateurs genre Planté, on évite, par suite du mode même de formation, ces deux inconvénients : il y a adhérence complète et, par conséquent, bon contact électrique entre le support et la matière active, et, d'autre part, cette dernière peut être complètement utilisée.

Toutefois ces accumulateurs ne sont pas exempts du foisonnement et des déformations qui s'en suivent, bien que ces déformations soient moins importantes que dans les accumulateurs à oxydes rapportés. Aussi M. Margaine pense-t-il que, s'il est indispensable de recourir au mode Planté pour la formation de plaques de longue durée, il est non moins indispensable de construire celles-ci de manière à éviter les inconvénients de déformations qu'il est impossible d'éviter.

A son avis, l'accumulateur « à navettes » construit par M. René Blot, qu'il a eu l'occasion d'étudier pendant plusieurs mois, remplit parfaitement cette dernière condition.

Dans cet accumulateur, chaque plaque est constituée par un cadre rectangulaire en plomb antimonié très résistant, dans lequel sont disposées des demi-navettes. Chaque navette comprend une lame de plomb antimonié d'une longueur un peu plus faible que le double de la hauteur du cadre et d'une largeur égale à l'épaisseur de celui-ci. Sur cette âme on enroule un ruban de plomb pur gaufré et strié de 0,5 mm. d'épaisseur, puis un ruban de plomb antimonié, puis un nouveau ruban de plomb pur et ainsi de suite ; on soude ensuite les rubans les uns aux autres et à l'âme aux deux extrémités de la navette ainsi construite. En coupant par le milieu deux de ces navettes on obtient quatre demi-navettes que l'on suspend, par l'extrémité non sectionnée, verticalement l'une à côté de l'autre dans l'évidement du cadre auquel on les soude avec du plomb peu attaquable. La longueur du cadre permet de laisser un intervalle de 1 cm. environ entre chaque demi-navette pour ne pas gêner le foisonnement latéral des rubans, et comme sa hauteur est plus grande que la longueur des demi-navettes, l'allongement de ces rubans peut s'effectuer librement.

L'expérience a montré qu'avec cette disposition il n'y avait aucune déformation des plaques, l'accumulateur étant déchargé à un régime quelconque, même en court circuit.

D'autre part, la surface de plomb utile rapportée au kilogramme est considérable (1 m^2 pour deux plaques du poids total de 3 kg.), de sorte que la capacité de l'accumulateur est très satisfaisante. Au régime de décharge normale cette capacité est de 10 ampères-heures par kilogramme dès le début, et peut atteindre 20 ampères-heures après quelque temps de fonctionnement.

Les rendements sont également bons ainsi qu'il résulte des chiffres du tableau ci-joint qui s'applique au régime normal de 1 ampère au kilogramme.

Avec un régime de charge de un demi-ampère par kilogramme de plomb, les rendements en quantité sont respectivement de 0,94 et 0,96 et les rendements en énergie de 0,80 et 0,84 suivant que la différence de potentiel en fin de charge est de 2,40 ou 2,30 volts, la différence de potentiel à la fin de la décharge étant toujours 1,80 volt.

DIFFÉRENCE DE POTENTIEL		RENDEMENT	
en fin de charge	en fin de décharge	en quantité	en énergie
2,50 volts.	1,81	0,90	0,74
2,45	1,90	0,83	0,76
2,40	1,80	0,93	0,76

En terminant, M. Margaine insiste sur la possibilité de charger et décharger cet accumulateur à des régimes très différents sans produire de déformations gênantes et dans de bonnes conditions de rendement.

A la suite de cette communication, M. *Peyrusson*, protesseur de chimie à l'École de médecine et de pharmacie de Limoges, présente quelques observations générales sur les accumulateurs. Il est convaincu, comme M. Margaine, que les accumulateurs genre Planté sont préférables aux accumulateurs à oxydes rapportés sous le rapport de la durée, mais il ne croit pas que l'on puisse empêcher le gondolement des lames que lorsqu'elles sont parallèles arrivent nécessairement à former des court-circuits. C'est pour cette raison qu'il a été conduit à imaginer un accumulateur à lames radiales, que nos lecteurs connaissent, dans lequel le gondolement des plaques n'a aucun inconvénient.

2° Sur l'élimination des forces électromotrices dans la mesure des résistances, par le Dr A. Broca, préparateur de physique à la Faculté de médecine.

Ayant eu l'occasion d'étalonner de grandes résistances de charbon, l'auteur reconnut que ces résistances étaient toujours le siège d'une force électromotrice de 0,3 à 0,5 volt, dont la présence faussait les résultats obtenus par la méthode de Wheatstone. Ne pouvant prendre la méthode de Mance qui, avec les résistances employées, n'est pas assez sensible, M. Broca

imagina une méthode analogue à celle qu'emploient parfois les télégraphistes pour mesurer une résistance de terre, laquelle consiste à prendre la disposition ordinaire du pont de Wheatstone et à effectuer deux mesures en retournant la pile placée dans l'une des diagonales du pont.

Soient A, B, C et D les quatre sommets d'un pont de Wheatstone dont la diagonale BD contient un galvanomètre et la clef de contact et la diagonale AC une pile de force électromotrice E. La branche AB est formée par la résistance à mesure x qui est le siège de la force électromotrice ε ; les autres branches sont respectivement formées par des résistances métalliques r_1, r_2, r_3. Supposons l'équilibre du pont établi en faisant varier la résistance r_3 de la branche CD et soient i l'intensité du courant dans le circuit ABC, I l'intensité dans le circuit CDA. On a alors

$$ix + \varepsilon = Ir_2, \qquad (1)$$
$$ir_1 = Ir_3. \qquad (2)$$

Si l'on fait varier la force électromotrice de la pile ou la résistance de la diagonale où elle est située, l'équilibre peut être obtenu pour une valeur r'_3 de la résistance de la branche CD et l'on a, en désignant par i' et I' les valeurs des intensités dans les circuits ABC et CDA,

$$i'x + \varepsilon = I'r_2, \qquad (3)$$
$$i'r_1 = I'r'_3. \qquad (4)$$

Retranchant (3) de (1) et (4) de (2), il vient

$$(i - i')\,x = (I - I')\,r_2, \qquad (i - i)\,r_1 = Ir_3 - I'r'_3;$$

d'où

$$\frac{x}{r_1} = \frac{\left(1 - \frac{I'}{I}\right) r_2}{r_3 - \frac{I'}{I}\,r'_3}.$$

Par conséquent la connaissance des résistances r_1, r_2, r_3, r_3' et celle du rapport des intensités du courant dans la branche CD permet de calculer x. Or, la détermination du rapport des intensités peut être calculée, lorsqu'on opère par retournement de la pile, pourvu que l'on connaisse la force électromotrice et la résistance de cette pile ; on peut en outre calculer également le rapport $\frac{\varepsilon}{E}$ de la force électromotrice inconnue à celle de la pile. On a donc ainsi une méthode permettant de trouver les inconnues x et ε.

Mais la détermination de $\frac{I'}{I}$ et de $\frac{\varepsilon}{E}$ exige l'emploi de formules compliquées. De plus, il faut admettre que la force électromotrice et la résistance de la pile ne varient pas d'une expérience à l'autre. Enfin, il faut supposer que la force électromotrice ε n'est pas de nature électrolytique, car alors elle varierait avec le sens du courant et ne pourrait s'éliminer entre les équations (1) et (3). Ces inconvénients disparaissent comme nous le verrons si, comme le fait M. Broca, on mesure directement le rapport E des intensités du courant au moyen d'un second galvanomètre placé dans la branche CD du pont.

Cette modification qui paraît extrêmement simple au premier abord, est en réalité très délicate à réaliser en pratique. Il faut en effet employer un instrument de sensibilité suffisante pour donner des élongations assez considérables avec les faibles courants qu'on doit toujours employer pour les mesures de résistance, surtout quand ces résistances contiennent une force électromotrice pouvant varier avec l'intensité du courant qui les traverse. Il faut donc rejeter les instruments à aimant mobile, car, lorsque leur sensibilité devient suffisante, ils sont soumis à des causes de variation trop considérables. D'autre part, les instruments à circuit mobile de grande sensibilité sont généralement montés sur fil de torsion et ne donnent alors que des indications erronées à cause des résidus de torsion qu'ils présentent toujours et qui mettent par fois fort longtemps à disparaître.

Mais si, dans ces derniers instruments, on remplace le fil de suspension par un ressort en argent, on obtient, comme l'a constaté l'auteur, les meilleurs résultats. M. Perry a déjà préconisé l'emploi de ces ressorts ; toutefois il était obligé de conserver un fil de cocon pour le

centrage de la partie mobile, et ce fil rend l'instrument délicat et difficile à monter. M. Arnoux, dans ses instruments transportables, a montré que l'on pouvait supprimer le fil de cocon et obtenir néanmoins un bon centrage en prenant une spirale en fil d'argent. L'équipage mobile des appareils employés par M. Broca étant un peu lourd, il a préféré constituer la spirale avec une petite lame d'argent de 0,1 mm. d'épaisseur et de 0,3 mm. de hauteur, préparées par M. Gaiffe, le diamètre maximum qu'on peut donner à la spirale dépendant du poids du cadre.

En même temps qu'on obtient ainsi une très grande exactitude de retour au zéro, on augmente la sensibilité de l'appareil. Avec un galvanomètre à double fer à cheval, dont le cadre est cependant assez lourd, M. Broca a pu, par ce procédé, doubler la sensibilité qu'il avait avec un fil de 0,03 mm. La longueur de chaque spirale pour cet instrument étant de 20 cm., il a observé un retour au zéro exact aux erreurs de lecture près pour des déviations de 20 cm. à 120 cm.; au delà de cette limite, on constate un petit résidu de torsion. Il est d'ailleurs persuadé qu'en construisant des instruments spéciaux à cadre très léger on arriverait à une sensibilité plus grande encore et à un retour au zéro plus parfait.

Au moyen de cet instrument, la méthode de mesure précédente devient très aisée et on n'a plus besoin de s'occuper de la pile auxiliaire E. Il suffit d'introduire un rhéostat dans la diagonale qui le contient pour faire varier le courant. On peut même supprimer entièrement cette pile auxiliaire si la force électromotrice ε est suffisante. Comme il suffit de faire varier assez peu l'intensité dans les deux expériences pour avoir de bonnes mesures, on peut supposer que même la fraction de ε de nature électrolytique demeure constante. Enfin le galvanomètre placé dans la branche CD permet de faire plusieurs mesures croisées, en ramenant toujours l'intensité à la même valeur et s'assurer ainsi si l'hypothèse relative à la constance de ε est réalisée. Comme d'ailleurs on peut s'arranger à avoir une intensité de courant très faible dans la branche AB qui contient cette force électromotrice et à ne produire qu'une très petite variation de cette intensité, on se trouve toujours dans de bonnes conditions d'exactitude des mesures, et c'est ce que l'expérience a vérifié.

Un dernier point sur lequel M. Broca insiste, bien qu'il n'ait pu encore le vérifier expérimentalement, est que l'emploi du galvanomètre auxiliaire dans la branche CD permet d'éliminer, par deux observations, toutes les forces électromotrices parasites dans le pont de Wheatstone, considération qui a une grande importance lorsque, dans des mesures de précision, on ne peut prendre toutes les précautions nécessaires pour obtenir une uniformité parfaite de température dans les diverses parties du pont.

Supposons, en effet, que les diverses branches du pont soient le siège des forces électromotrices $\varepsilon, \varepsilon_1, \varepsilon_2, \varepsilon_3$; soient encore i et I les intensités dans ABC et CDA pendant la première mesure, i' et I' ces intensités pendant la seconde. On aura, en admettant, pour plus de généralité, que l'équilibre du pont est obtenu en ajustant les résistances r_2 et r_3,

$$ix + \varepsilon = \mathrm{I}r_2 + \varepsilon_2, \qquad ir_1 + \varepsilon_1 = \mathrm{I}r_3 + \varepsilon_3,$$
$$i'x + \varepsilon = \mathrm{I}'r'_2 + \varepsilon_2. \qquad i'r_1 + \varepsilon_1 = \mathrm{I}'r'_3 + \varepsilon_3;$$

d'où

$$(i - i')\,x = \mathrm{I}r_2 - \mathrm{I}'r'_2, \qquad (i - i')\,r_1 = \mathrm{I}r_3 - \mathrm{I}'r'_3,$$

et, par suite,

$$\frac{x}{r_1} = \frac{r_2 - \frac{\mathrm{I}'}{\mathrm{I}}\,r'_2}{r_3 - \frac{\mathrm{I}'}{\mathrm{I}}\,r'_3},$$

de sorte que la résistance x peut être déduite de la connaissance des résistances du pont et de celle du rapport des intensités I' et I (¹).

Si l'on suppose r'_2 et r'_3 respectivement

(¹) Rappelons à ce propos que M. Froelich a indiqué récemment une méthode de mesure de l'isolement des canalisations basée sur des considérations analogues (*L'Eclairage Electrique* du 27 juillet, p. 176).

voisins et qu'on pose $r_2 = kr_3$, on aura

$$\frac{r'_2}{r'_3} = k + \delta k,$$

δk étant très petit, et la relation précédente peut s'écrire

$$\frac{x}{r_1} = \frac{kr_3 - (k + \delta k)\frac{\mathrm{I}'}{\mathrm{I}} r'_3}{r_3 - \frac{\mathrm{I}'}{\mathrm{I}} r'_3} = k - \delta k \frac{1}{\frac{\mathrm{I}}{\mathrm{I}'} \frac{r_3}{r'_3} - 1}.$$

Sous cette forme on peut voir que si δk est de l'ordre du millième et $\frac{\mathrm{I}}{\mathrm{I}'}$ est voisin de $\frac{1}{2}$, il suffit de connaître ce rapport au centième pour avoir la valeur de $\frac{x}{r_1}$ à $\frac{1}{100\,000}$ près et par conséquent x avec la même approximation si l'on a choisi x et r_1 du même ordre.

En terminant, M. Broca fait remarquer que l'on peut appliquer cette méthode avec le pont à corde, en constituant le circuit CDA par un fil rectiligne, si l'on place le galvanomètre auxiliaire dans la branche BC. Mais alors cet instrument mesure le rapport $\frac{i'}{i}$ et la précision de la mesure devient moindre.

3° Quelques dispositifs pratiques d'expériences de cours, par M. Delvalez, professeur au lycée de Poitiers.

Parmi les dispositifs indiqués par l'auteur nous signalerons les deux suivants qui se rapportent à des expériences d'électricité.

Pour réaliser l'expérience de la rotation d'un aimant par un courant, on prend une aiguille d'acier aimantée, dont on enfonce une extrémité dans un bouchon de liège, puis on place cette aiguille verticalement dans une éprouvette profonde remplie d'eau acidulée. Suivant l'axe de l'éprouvette on fait plonger une tige métallique ; sur son pourtour on dispose un anneau métallique mouillé par l'eau acidulée. Quand on relie respectivement cet anneau et la tige centrale aux deux pôles d'une pile, l'aiguille aimantée tourne autour de la tige.

Le second dispositif a pour objet l'obtention de figures équipotentielles. Il consiste en une boîte en bois verni de 69 mm. de large sur 92 mm. de long, Aux deux extrémités de cette cuve sont disposées verticalement deux lames de cuivre rouge servant d'électrodes. En travers de la boîte sont tendus deux fils de soie soutenant une lame de laiton horizontale s'étendant jusqu'à une faible distance des électrodes. Comme solution électrolytique on emploie un mélange de sulfate de cuivre et d'acétate de plomb dissous. Quand on relie les électrodes aux deux pôles d'une pile formée de deux éléments au bichromate on voit se former sur la lame de laiton des dépôts diversement colorés. Les lignes de séparation de ces dépôts se déforment quand on fait plonger dans l'électrolyte des électrodes parasites.

4° L'astronomie moderne basée sur les lois électrodynamiques, par M. Zenger, professeur de physique et d'astronomie physique à l'Ecole polytechnique de Prague.

Dans cette communication, M. Zenger expose l'ensemble de ses idées sur le mouvement du monde planétaire, vues que nos lecteurs connaissent bien pour les avoir lues à diverses reprises dans la *Lumière Électrique* (1).

Après quelques considérations sur les difficultés qu'éprouvent les astronomes à accorder les lois de Newton et de Képler avec les résultats de leurs observations, M. Zenger donne la description de l'appareil qui lui sert pour reproduire toutes les circonstances du mouvement d'une planète. Rappelons qu'il est formé par trois électro-aimants droits disposés ver-

(1) Zenger. — L'induction sur une sphère tournante et le mouvement des corps célestes, t. XXXIII, p. 542 ; 13 septembre 1889.

Zetzsche. — Les phénomènes électriques et leur rapport avec les phénomènes cosmiques, t. XXXV, p. 601 ; 29 mars 1890.

Zenger. — Etudes sur les décharges électriques dans les espaces remplis de poussière, t. XXXVIII, p. 251 ; 8 novembre 1890. — La rotation des planètes produite par l'action électrodynamique du soleil, t. XXXVIII, p. 451 ; 6 décembre 1890. — L'électricité et le mouvement tourbillonnaire, t. XLIII, p. 501 ; 12 mars 1892.

ticalement et formant les trois sommets d'un triangle isocèle. Les deux électros situés aux extrémités de la base du triangle ont un noyau de fer plein et sont fixes ; le troisième a pour noyau un faisceau de fils de fer et peut être déplacé perpendiculairement à la base du triangle. Un commutateur inverseur permet de changer le sens du courant dans ce dernier électro-aimant. Au-dessus du pôle de l'un des deux premiers électros et un peu excentriquement est suspendue une sphère de cuivre. Cette sphère porte, dans le prolongement de son diamètre vertical, une pointe qui appuie très légèrement sur une plaque de verre enduite de noir de fumée placée sur le pôle de l'aimant au-dessus duquel est suspendue la sphère.

Si l'on tord le fil de suspension, puis qu'on abandonne la sphère à elle-même, elle prend un mouvement de rotation rapide autour de son diamètre vertical. Si alors on excite l'électro-aimant au-dessus duquel elle se trouve, la pointe de la sphère décrit une spirale qui tend vers une circonférence. En excitant en même temps le second électro-aimant de la base du triangle isocèle, on voit la courbe se déformer et tendre vers une ellipse, ce qui explique la forme elliptique de l'orbite des planètes. Quand on fait fonctionner le troisième électro-aimant, on obtient de nouvelles courbes dont la forme dépend de la position de l'électro-aimant et du sens du courant qui la traverse ; ces courbes sont tout à fait analogues à celles que, d'après les observations astronomiques, les planètes décrivent en réalité (voir ces diverses courbes dans la *Lumière Electrique* du 29 mars 1890).

L'auteur passe alors à la description de deux autres expériences montrant la possibilité de faire tourner une sphère autour d'un axe situé en dehors de cette sphère (*Lum. Elect.* du 12 mars 1892) ou coïncidant avec un de ces diamètres (*Lum. Electr.* du 6 décembre 1890).

Il rapproche ensuite les apparences de la couronne solaire observée pendant les éclipses de soleil de celles que présentent les traces de décharges électriques sur une plaque de verre recouverte de noir de fumée et il en conclut que le soleil doit être le siège de phénomènes électriques tourbillonnaires. Nous ne pouvons malheureusement suivre l'auteur dans les considérations qu'il développe à ce propos et nous renvoyons le lecteur désireux de les connaître à une petite brochure publiée il y a moins de deux ans [1].

5° Sur l'interprétation théorique des expériences hertziennes, par M. Duhem, professeur de physique théorique à la Faculté des sciences de Bordeaux.

Dans un article publié dans ce journal [2] nous avons cherché quelles étaient les vitesses de propagation des flux longitudinaux et transversaux dans les milieux diélectriques et dans les fils conducteurs quand on adopte les idées de Poisson-Mosotti sur la polarisation des diélectriques et qu'on admet pour l'expression du potentiel électrodynamique de deux éléments de courants de *conduction* ou de *polarisation* l'expression donnée par Helmholtz :

$$ii'\left(\frac{\cos\varepsilon}{r} + \frac{1-k}{2}\frac{d^2r}{ds\,ds'}\right)ds\,ds',$$

M. Duhem se place dans une hypothèse plus générale. Il suppose que le potentiel électrodynamique de deux éléments de courant de *polarisation* est de la même forme que celui de deux éléments de courant de *conduction*, mais *qu'il en diffère par un coefficient numérique.*

Il démontre alors que, dans un milieu dénué de conductibilité les flux de déplacement longitudinaux se propagent avec une vitesse

$$\mathfrak{T} = \sqrt{\frac{\varepsilon}{\frac{\mathfrak{C}^2}{2}}\frac{1}{\lambda}\frac{1+4\pi\varepsilon K}{4\pi\varepsilon K}},$$

[1] Zenger. — *Le système du monde electrodynamique;* 1893. G. Carré, éditeur.

[2] Sur la propagation des perturbations électriques et magnétiques. *L'Eclairage Electrique*, t. I, p. 16 et 118 ; 15 et 29 septembre 1894.

et les flux de déplacement transversaux avec une vitesse

$$\tau = \sqrt{\frac{\varepsilon}{\frac{\mathfrak{C}^2}{2}} \frac{1}{(1 + 4\pi f)\, 4\pi\varepsilon K}},$$

$\frac{\mathfrak{C}^2}{2}$ désignant le facteur numérique de l'expression du potentiel électrodynamique des courants de déplacements, λ la constante de Helmholtz (que nous désignions par k précédemment), K le coefficient de polarisation du milieu (de sorte que $1 + 4\pi\varepsilon K$ est son pouvoir inducteur spécifique), f sa susceptibilité magnétique, et, par suite, $1 + 4\pi f$ sa perméabilité, et enfin ε étant un coefficient tel que la force qui s'exerce entre deux points matériels placés dans un vide absolu incapable de toute polarisation, ait pour expression.

$$F = \varepsilon \frac{qq'}{r^2}.$$

Dans un conducteur parfait on trouve pour la vitesse des flux longitudinaux

$$\mathfrak{T} = \sqrt{\frac{\varepsilon}{\frac{\mathfrak{A}^2}{2}} - \frac{1}{\lambda}},$$

$\frac{\mathfrak{A}^2}{2}$ désignant le facteur numérique de l'expression du potentiel électro-dynamique des courants de conduction.

Après avoir établi ces résultats du calcul, qui diffèrent complètement de ceux que l'on obtient en prenant la même expression pour le potentiel électro-dynamique des courants de déplacement et de conduction, M. Duhem les compare aux résultats expérimentaux et déduit diverses conséquences de cette comparaison.

En premier lieu, il résulte des expériences de M. Blondlot, que la vitesse de propagation des perturbations électriques dans les conducteurs est égale à la vitesse de propagation V de la lumière dans le vide, et par conséquent, au v de Maxwell. Or l'expression de cette dernière quantité peut être aisément trouvée. En l'égalant à l'expression de $\mathfrak{T}$, on arrive à cette conséquence : *La constante d'Helmholtz est le produit du pouvoir inducteur spécifique de l'éther par l'induction magnétique de ce même éther.* Comme on suppose ordinairement que l'éther possède seulement de faibles propriétés diélectriques et magnétiques, on en conclut que la constante d'Helmholtz, est peu supérieure à l'unité et que par conséquent, *la détermination de F.-E. Neumann est approximativement exacte.*

En second lieu, il résulte des expériences de MM. Sarasin et de la Rive que la longueur de l'internœud des flux de déplacement transversaux qui se propagent dans l'air est sensiblement égale à la longueur du fil servant de résonateur. Si donc on appelle T la période de l'oscillation, τ_0 la vitesse de propagation dans le vide (ou dans l'air) et L la longueur du fil, on a :

$$L = \frac{\tau_0 T}{2}.$$

Mais comme le fil peut être assimilé à un tuyau sonore rendant le son fondamental, on a aussi

$$\mathfrak{T} T = 2L,$$

et, par suite,

$$\mathfrak{T} = \tau_0,$$

c'est-à-dire que *la vitesse de propagation des flux de déplacement transversaux dans l'éther est égale à la vitesse de propagation des flux longitudinaux, dans un conducteur parfait.*

La dernière de ces vitesses étant égale à celle de la lumière, d'après les expériences de M. Blondlot, on en conclut encore que *les flux de déplacement tranversaux se propagent avec une vitesse égale à celle de la lumière.* La comparaison des expressions de τ_0 et de $\mathfrak{T}_0$ montre qu'il *en est de même pour les flux longitudinaux dans l'éther* et que *dans un diélectrique quelconque le rapport de la vitesse de propagation des flux longitudinaux à la vitesse de propagation des flux transversaux est la moyenne géométrique de*

la perméabilité magnétique et du pouvoir inducteur spécifique, tous deux rapportés à l'éther.

6° Sur une pile constante de grande force électromotrice, par M. Morisot, professeur à la Faculté des sciences de Bordeaux.

Cet élément est constitué de la manière suivante :

1° Le pôle positif est une lame de charbon de cornue plongée dans le vase extérieur, au milieu du liquide dépolarisant. Celui-ci se compose d'un volume d'acide sulfurique mêlé à trois volumes d'eau qu'on a préalablement saturée à froid de bichromate de potasse. Des cristaux de ce sel, maintenus par un entonnoir court dans la partie supérieure du liquide, maintiennent la saturation.

2° Un premier diaphragme en terre poreuse immergé dans le liquide dépolarisant, contient une dissolution étendue de soude caustique (densité, 1,05 environ).

2° La lame de zinc amalgamé, qui est le pôle négatif, plonge au milieu d'un second diaphragme, intérieur au premier, dans une solution concentrée de soude caustique (densité 1,25 environ).

La force électromotrice de cet élément est de 2,5 volts au début. Elle se maintient ensuite au-dessus de 2,4 volts pendant dix heures au moins d'action non interrompue.

La résistance intérieure est de 0,8 ohm environ, elle varie du reste avec l'épaisseur et la structure des diaphragmes.

Dans des expériences faites avec un élément contenant 600 cm^3 de liquide dépolarisant, 130 cm^3 de soude faible et 110 cm^3 de soude concentrée, l'auteur a obtenu des intensités de courant se maintenant très près de 0,432 ampère pour une résistance interposée de 5 ohms et de 0,220 ampère pour une résistance de 10 ohms.

Si le circuit est fermé aussitôt après la constitution de l'élément, la résistance est d'abord plus grande et, par suite, l'intensité moindre. Le régime régulier s'établit à peu près une heure plus tard, quand les diaphragmes sont suffisamment imprégnés. On obtient de suite le régime définitif si l'on ferme le circuit seulement après que les diaphragmes sont imprégnés.

C'est à la substitution de la solution alcaline à la solution acide qui baigne ordinairement le zinc qu'est due l'augmentation de 0,4 de volt que présente la force électromotrice de l'élément de M. Morisot par rapport à celle de l'élément ordinaire au bichromate. En effet, la même substitution faite dans la pile Bunsen donne 2,25 volts au lieu de 1,85 volt, c'est-à-dire le même accroissement 0,4 volt. La même substitution, faite en 1880 par M. Reynier dans la pile de Daniell, élève la force électromotrice de 1,1 volt à 1,6 volt environ, soit très sensiblement le même accroissement.

Mais si l'on se borne à ce seul changement, l'avantage devient bientôt illusoire, à cause de l'augmentation rapide de la résistance. La soude se change en chromate neutre, et l'on trouve sur le zinc et autour de lui un abondant dépôt d'hydrate d'oxyde de zinc. Ces actions, dues à la modification des liquides l'un par l'autre, à travers les pores du diaphragme, sont considérablement ralenties et leur effet atténué par l'interposition du liquide alcalin faible contenu entre les deux diaphragmes. Cette addition n'augmente pas beaucoup la résistance, et elle offre l'avantage d'assurer une constance presque absolue, surtout si l'on renouvelle partiellement de temps en temps la soude faible intermédiaire.

L'emploi de potasse au lieu de soude n'offre aucun avantage, non plus que l'emploi de bichromate de sodium au lieu de bichromate de potassium dans le liquide dépolarisant.

Le zinc est beaucoup moins attaqué que dans l'élément Poggendorff et tous ceux où ce métal baigne dans l'eau acidulée. Après une dizaine d'heures d'action continue, on trouve le zinc couvert d'un enduit gris. On peut lui rendre son poli et ses qualités du début en le retirant de la pile et le plongeant quelques instants seulement dans de l'eau acidulée, qui dissout rapidement l'enduit. L'élément reconstitué, même

sans qu'on ait changé ou renouvelé partiellement les liquides, reprend alors sa marche presque comme au début.

Lorsque la pile doit fonctionner pendant deux ou trois heures seulement, pour des expériences de cours par exemple, on peut se dispenser d'amalgamer le zinc.

7° Sur le rendement des piles Junius, par M. Junius. (Communication présentée par M. Gossart.)

L'électrode positive de cette pile est constituée par un charbon à ailettes enfermé dans un vase poreux contenant le dépolarisant solide, bioxyde de manganèse ou bioxyde de baryum. Deux ou quatre cylindres de zinc, suivant la grandeur de l'élément, forment l'électrode négative et plongent dans une solution de soude. Le grimpement des sels le long de ces cylindres est évité en entourant leur partie supérieure d'une bague en caoutchouc.

La force électromotrice de cette pile est 1,6 volt au début; elle tombe à 1,3 volt après quelque temps de fonctionnement de la pile, mais se maintient pendant très longtemps à cette valeur.

Un élément présentait le 31 juillet une force électromotrice de 1,63 volt; fermé sur une résistance de 10 ohms, sa force électromotrice était de 1,33 volt le 1er août, et de 1,31 volt le 6 août.

La résistance intérieure est comprise entre 0,15 ohm et 0,56 ohm suivant le modèle de l'élément.

L'usure du zinc est inappréciable lorsque la pile est en circuit ouvert.

8° Sur la polarité de la bobine de Ruhmkorff, par le Dr Broca, préparateur de physique à la Faculté de médecine.

De nombreuses expériences ont montré que le secondaire d'une bobine d'induction est le siège d'un courant oscillatoire amorti, ce qui indique que l'une des bornes de la bobine doit se trouver, tantôt à un potentiel plus élevé, tantôt à un potentiel plus bas que l'autre borne. D'un autre côté on sait, par l'étude des tubes de Geissler, que la bobine de Ruhmkorff présente un pôle positif et un pôle négatif. Voici comment l'auteur relie ces deux faits.

« Prenons un œuf de Crookes dans lequel prennent naissance des rayons cathodiques. Il est facile de voir qu'il ne présente ce genre de phénomènes que quand il est en communication avec un pôle chargé négativement. Il suffit pour cela de le mettre en communication unipolairement avec une machine statique. On voit dans ce cas la croix de Crookes, par exemple, se produire sur le fond de l'œuf quand le tube est mis en communication avec le pôle négatif. Avec le pôle positif on voit seulement se produire une lueur cendrée qui s'arrête à la croix conductrice placée dans l'œuf. Les phénomènes sont par conséquent entièrement changés. Nous pouvons donc être assurés, toutes les fois que nous verrons se produire les phénomènes cathodiques véritables, que le potentiel de l'électrode a pris une valeur négative.

« Si nous plaçons alors l'œuf de Crookes unipolairement en communication avec un pôle quelconque de la bobine, nous voyons les phénomènes se produire, mais nous remarquons qu'à l'un des pôles ils sont plus marqués qu'à l'autre. C'est le pôle auquel ils prendront naissance quand le circuit de la bobine sera fermé bipolairement sur l'œuf de Crookes.

« Nous voyons donc que quand le circuit est ouvert le phénomène de Crookes se produit aux deux pôles et à un seul quand il est fermé. Cette expérience, facile à répéter dans un cours, permet de mettre en évidence aux yeux des élèves l'existence des oscillations électriques. En effet le phénomène qui se passe en circuit fermé nous montre que la rupture de l'inducteur produit une impulsion dirigée vers la borne où ne se passent pas les phénomènes cathodiques, pour employer l'idée surannée de quantité d'électricité. Le flux d'énergie rencontrant le tube de Crookes s'y consomme en produisant le phénomène brillant d'illumination que Crookes a découvert. Si maintenant nous plaçons le tube unipolairement au pôle positif de tout à l'heure, nous

voyons que la borne qui précédemment était positive devient aussi négative puisque le phénomène de Crookes s'y produit; cela montre qu'à circuit ouvert cette borne est le siège d'un phénomène oscillatoire, puisqu'après avoir été positive, elle devient négative.

« D'ailleurs, la moindre illumination à la borne positive ainsi qu'à la négative montre bien que la perturbation, qui s'est propagée d'abord dans un sens, s'est affaiblie après une oscillation et que par conséquent la bobine de Ruhmkorff est le siège d'oscillations amorties.

« Ce procédé permettra probablement, en employant nn miroir tournant et deux tubes de Crookes unipolaires, de mesurer rapidement la période propre d'une bobine de Ruhmkorff. Je me propose d'entreprendre cette étude que je n'ai pu encore faire, et qui rendra probablement pratique la mesure des oscillations propres. » J. BLONDIN.

LA TRACTION ÉLECTRIQUE

SUR LA LIGNE DU CHEMIN DE FER

DE BALTIMORE-OHIO [1]

Au mois de septembre 1890, la Compagnie du chemin de fer de Baltimore and Ohio, obtint l'autorisation législative de construire un tunnel sous la ville de Baltimore, afin de pouvoir faire traverser cette ville à ses trains sans être obligée de leur faire traverser la rivière sur un bateau. Le tunnel et la ligne, qui va de la station de Camden, dans le cœur de la ville, en se dirigeant d'abord vers le nord et ensuite vers l'est, jusqu'à Bay View Junction a 11,5 km de longueur environ. La traction des trains, tant de voyageurs que de marchandises, s'y fera entièrement par l'électricité. Cette expérience est le premier pas fait en Amérique vers la substitution de l'électricité à la vapeur sur les grandes lignes de chemin de fer à trafic intense.

[1] D'après *The Street Railway Journal*, janvier et juillet 1895 et *Engineering*.

Les locomotives électriques sont construites en vue d'un service très chargé et serviront à la traction de trains aussi lourds que ceux actuellement remorqués par les plus puissantes locomotives à vapeur. Elles devront remorquer quotidiennement 100 trains dans chaque direction, soit 200 en tout; chacun d'eux pèsera de 450 à 1 100 tonnes. Un des trucks, complètement terminé, représentant la moitié de la locomotive, a été essayé dans les ateliers de Schenectady. En vue de réaliser la charge nécessaire, une locomotive à vapeur à six roues motrices, empruntée au New-York Central, fut attelée au truck. Les deux machines tiraient chacune en sens opposé. Le truck électrique avait un léger avantage relativement au poids adhérent sur la locomotive à vapeur; il la remorqua aisément dans un sens ou dans l'autre. A poids adhérent égal, la locomotive électrique démarrerait plus facilement, l'effort étant constant pendant la rotation complète des roues, tandis qu'avec la locomotive à vapeur, l'effort de traction varie avec l'angle de la manivelle.

La ligne devait être inaugurée vers le mois de mars 1893. Mais le tunnel n'a été terminé que vers la fin de cette année, et l'installation électrique n'a été commencée qu'en janvier 1895.

Le tunnel traverse le centre de la ville, sous Howard Street, une des rues les plus fréquentées de Baltimore; il fallait donc le construire sans interrompre la circulation intense de cette voie; on eut recours, dans ce but, à des puits et des galeries percés dans les caves des maisons voisines. Le sol est composé principalement de sable que traversent des couches de gravier et d'argile dure qui dut être, en différents cas, attaquée à la dynamite. De nombreuses infiltrations d'eau rendaient le travail difficile. La longueur du tunnel est de 2 238 mètres environ; ses dimensions intérieures maxima sont 8,30 m. de large et 6,70 m. de haut. Son prix de revient est de 3 700 francs environ par mètre linéaire, complètement terminé et prêt à recevoir les voies.

La station centrale (fig. 1) située dans Howard Street, est un bâtiment d'un étage, de 9 m. environ de hauteur, et construit presque entièrement en matériaux réfractaires; il a 98,25 m. de longueur totale et est divisé en deux parties : la chambre des machines a 68,25 m. de longueur et 17,60 m. de largeur, tandis que la salle de chauffe a 30 m. × 21 m.

Cette dernière contient 12 chaudières de 250 chevaux de capacité chacune, arrangées en six batteries disposées symétriquement par rapport à un passage central. Elles sont du type Root, à tubes à eau; chacune contient 11 rangées superposées de 12 tubes chacune, avec 6 cylindres de 37 cm., et un cylindre à vapeur de 76 cm.

La combustion est activée par un tirage mécanique. Tous les carneaux à fumée des chaudières viennent se réunir dans une chambre unique qui a 2,75 m. de diamètre, et dans laquelle deux ventilateurs Sturtevant tournent à raison de 240 tours par minute. Cette chambre est située à la base de la cheminée en fer qui a 2,15 m. de diamètre et 15,50 m. de hauteur au-dessus du plancher. Chaque ventilateur est entraîné par courroie, par un moteur vertical de 10 chevaux, placé dans la salle des chaudières; un seul ventilateur suffit à assurer le tirage; l'autre sert de réserve.

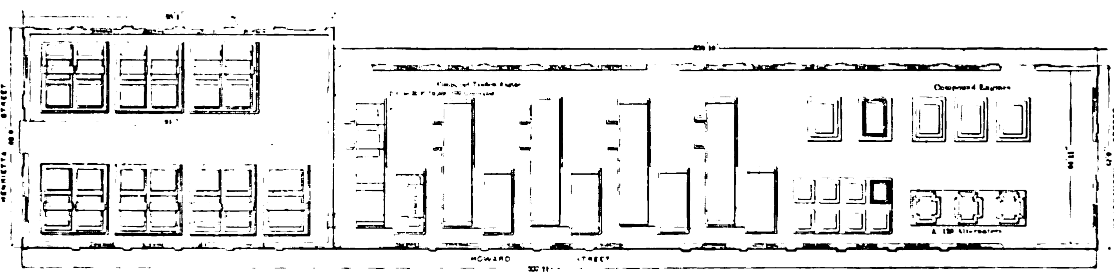


Fig. 1. — Plan de la station centrale.

Compound Tandem Enginer D. C. to M. P. 10, 500, Generator = Moteurs compound tandem, accouplés directement à des générateurs multipolaires de 500 kilowatts; Compound Enginer = Moteurs compound; A. 120 alternateurs. = Alternateurs, type A. 120.

Un broyeur et transporteur C.-W. Hunt apporte le charbon aux chaudières et enlève les cendres; deux pompes duplex de Deane, et un réchauffeur de Webster, d'une capacité de 3 000 chevaux, complètent l'installation de la chaufferie.

La canalisation de vapeur a reçu une attention particulière pour éviter que l'eau entraînée des chaudières ne puisse pénétrer dans la canalisation de la salle des machines. En outre, une innovation importante a été introduite; chaque conduite principale est munie d'une valve qui coupe automatiquement de l'ensemble toute chaudière dont un tube s'est brisé. Des séparateurs placés près de chaque moteur recueillent l'eau de condensation qui retourne aux chaudières avec un très faible refroidissement.

Les générateurs pour l'éclairage et ceux pour la traction sont placés dans la même salle, comme le représente le plan (fig. 1).

Nous ne nous occuperons pas de l'éclairage qui est assuré par 8 génératrices, à arc de 50 lampes chacune et par 2 alternateurs de 2 000 lampes de 16 bougies chacun. L'éclairage du tunnel est fait par 1 000 lampes de 32 bougies.

Il y a actuellement pour la traction 4 groupes en service et place pour un cinquième; chacun d'eux comprend un moteur Reynolds Corliss, construit par S.-P. Allis and C°, du type horizontal, compound. Les deux cylindres, montés en tandem ont 61 cm. et 101,6 cm. de diamètre, avec une course commune de 106,7 cm. Ils sont directement accouplés à des générateurs multipolaires de la General Electric C°, tournant à raison de 110 tours par minute, et

d'une puissance de 500 kilowatts. L'enroulement est du type tambour et les conducteurs

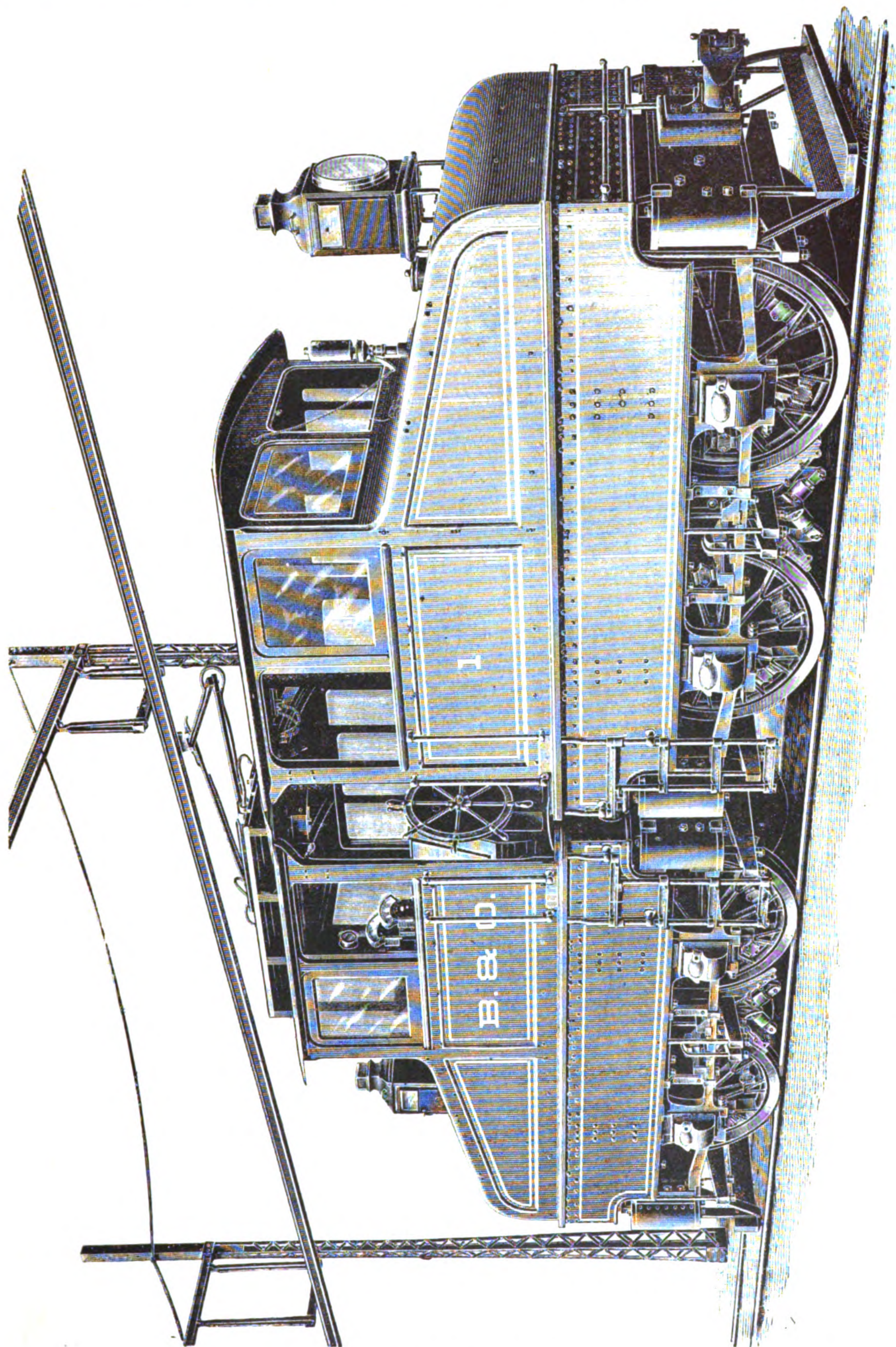


Fig. 2. — Vue latérale de la locomotive électrique du chemin de fer de Baltimore-Ohio.

sont noyés dans le noyau qui est en fer lamellaire. La carcasse des inducteurs est en

acier. L'enroulement est tel que la machine donne 600 volts à charge nulle et 700 volts à pleine charge.

Le courant est conduit de chaque génératrice au tableau de distribution par un câble de 645 mm² de section. Le tableau comprend quatre panneaux en marbre blanc, muni des appareils de contrôle et de sécurité les plus perfectionnés.

La barre omnibus positive est reliée par 8 câbles en cuivre de 322 mm² de section chacun, soit une section totale de 2 580 mm², à trois feeders qui alimentent le conducteur aérien, et à ce conducteur lui-même, équivalent chacun à une section de cuivre de 645 mm². La barre omnibus est reliée aux rails et à un conducteur de retour placé dans une conduite en bois, entre les voies. Les joints électriques des rails, pour assurer un bon retour, consistent en deux fils n° 0000 (11,683 mm de diamètre) munis à chaque extrémité d'un rivet creux qui est inséré dans les joues des rails, et qui est ensuite dilaté en y forçant une cheville conique en acier.

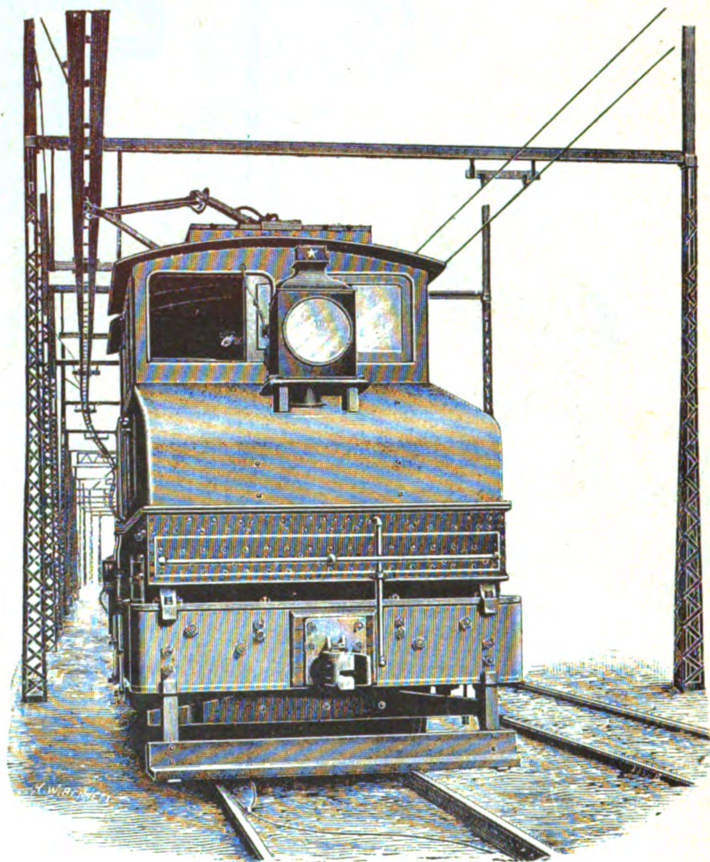


Fig. 3. — Vue en bout de la même.

La longueur de la ligne à traction électrique est d'environ 4 500 mètres; elle comprend deux tunnels, un de 2 238 m. l'autre de 81, 80 m., et 2 255 m. de voie à l'air libre.

Trois voies ont été posées jusqu'à l'entrée sud du tunnel; deux voies traversent celui-ci, il y a quatre voies à l'extrémité opposée du tunnel; et deux voies vont jusqu'à Huntington Avenue, où un garage a été disposé pour les locomotives électriques. Le tunnel est en rampe de 0,8 p. 100, du sud au nord; la ligne à ciel ouvert a deux courbes de 10 degrés

(le degré adopté comme unité pour évaluer les courbes aux États-Unis correspond à 1 degré de déflexion angulaire pour un parcours de 100 pieds), avec une rampe régulière de 1,5 p. 100.

L'exploitation électrique des trains de marchandises commencera à la voie principale, au sud de la station de Camden, où ils seront aiguillés dans la voie conduisant au tunnel. La locomotive électrique sera ensuite couplée à l'arrière du train, sans arrêter celui-ci, et elle le poussera jusqu'au portail de Mount Royal Avenue, sur une distance de 2 484 m.; pendant tout ce parcours, la locomotive à vapeur n'accomplira aucun travail. Au sortir du tunnel, cette dernière sera mise en marche; le train sera ainsi tiré et poussé, en raison de la rampe plus considérable de cette partie de la ligne. A Huntington Avenue, la locomotive électrique sera dételée. La vitesse moyenne sur la distance entière, sera de 24 km. à l'heure.

Par crainte des accidents qui pourraient se produire si un wagon accidentellement détaché du train sur la voie en pente se précipitait sur la locomotive électrique marchant à raison de 48 km. à l heure, l'exploitation des trains de voyageurs ne se fera pas de la même façon, mais par attelage à l'avant. L'exploitation électrique commencera à la station de Lombard Street, et finira à la station de Bolton Street.

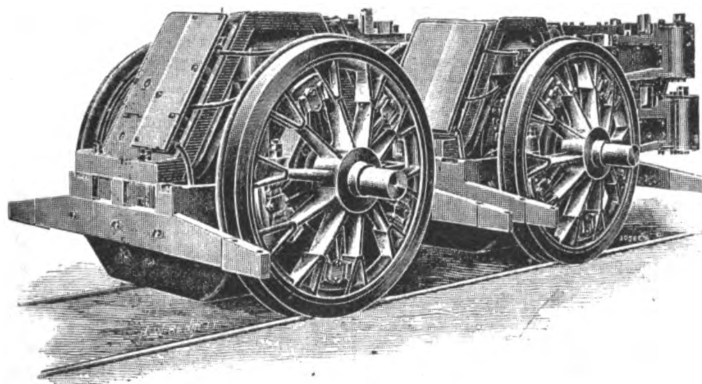


Fig. 4. — Vue perspective d'un des trucks, montrant les moteurs et le mode d'entraînement des roues.

La vitesse maxima est de 80 km. à l'heure; à pleine charge elle n'est que de 24 km. à l'heure et, à demi-charge de 48 km. à l'heure.

Nous arrivons à la partie la plus intéressante de l'installation : aux locomotives électriques. Ce sont de puissantes machines ne pesant pas moins de 96 tonnes américaines, soit 69.168 kgs. Nous en représentons l'aspect extérieur dans les figures 2 et 3. Les figures 4, 5 et 6 représentent un des deux trucks sur la description desquels nous reviendrons bientôt. Elles ont été construites par la General Electric Company. Voici leurs principales données :

Nombre de trucks	2
Nombre de moteurs	4 (2 sur chaque truck
Poids adhérent total	69 168 kgs.
Nombre de roues motrices	8
Effort de traction	19 068 kgs.
Effort de démarrage	27 240 kgs.
Ecartement de la voie	1,435 m.
Diamètre extérieur du bandage des roues motrices	1,575 m.
Longueur totale	10,670 m.
Hauteur jusqu'au toit de la cabine des mécaniciens	4,340 m.
Ecartement des roues de chaque truck, d'axe en axe	2,080 m.
Largeur extrême	2,900 m.
Diamètre des fusées	0,330 m.

Les trucks sont en fer forgé; chacun repose sur 4 roues en acier fondu. Chaque essieu est actionné par un moteur électrique à 6 pôles qui est suspendu élastiquement et dont l'arbre de l'armature, creux, est enfilé sur l'essieu, et entraîne les roues par des accouplements élas-

tiques. Les armatures sont du type iron-clad. La partie du manchon d'accouplement solidaire de l'armature est formée par une étoile à 5 branches en acier fondu; chaque bras est pourvu à son extrémité extérieure d'un double tampon en caoutchouc, avec un épaulement extérieur en fonte de fer qui supporte l'usure; les tampons sont forcés entre les bras de l'étoile et cet épaulement. Ces tampons s'engagent entre les jantes des roues motrices qu'elles entraînent, comme on le voit clairement sur la figure 4. Il y a un manchon d'accouplement à chaque extrémité de l'armature; tous les roues sont donc motrices; elles sont clavetées sur les essieux qui sont en acier. Les paliers des essieux sont à l'extérieur des roues et laissent un accès facile à toutes les parties du truck. Ces parties de la locomotive sont analogues dans leurs grandes lignes à celles des locomotives ordinaires et des wagons à voyageurs; nous n'y insisterons pas. Les barres d'accouplement à chaque extrémité de la locomotive sont du type Janney, employé sur toutes les voitures de la ligne.

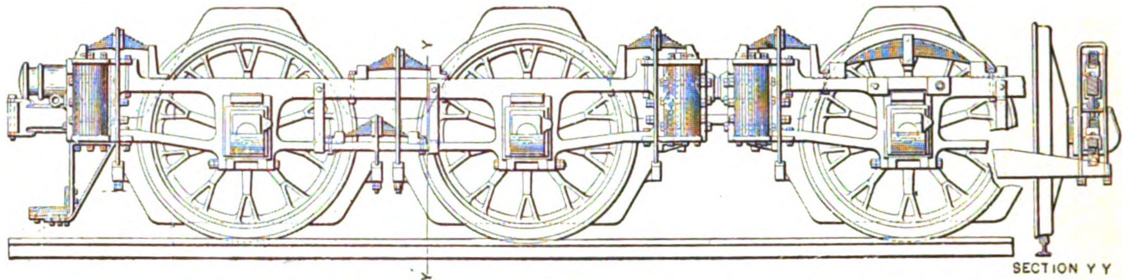


Fig. 5 et 6. — Vue latérale des trucks montrant la méthode d'accouplement et détail.

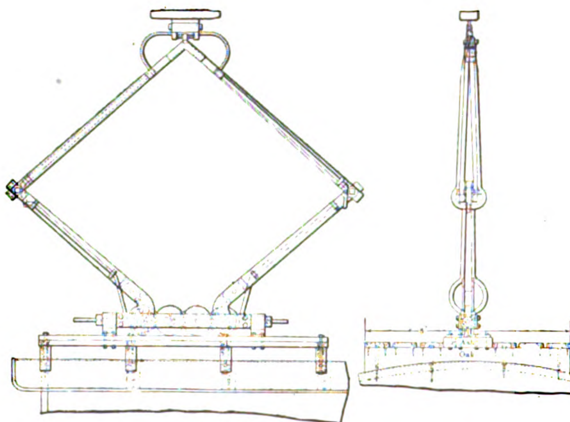


Fig. 7 et 8. — Vue latérale et vue en bout du trôlet.
Ash. = Frêne; Oak = Chêne.

Les mécaniciens sont placés dans une cabine faite en feuilles d'acier et qui repose sur les trucks par 4 ressorts demi elliptiques; elle est munie de fenêtres qui permettent à la vue de s'étendre dans toutes les directions; les échelles qui y donnent accès de chaque côté sont solidaires des cabines. A l'intérieur de celles-ci sont placés tous les organes de commande des moteurs, des freins, des sifflets et cloche d'avertissement qui sont actionnés par l'air comprimé. L'ensemble de la locomotive est armé d'une cuirasse en feuille d'acier.

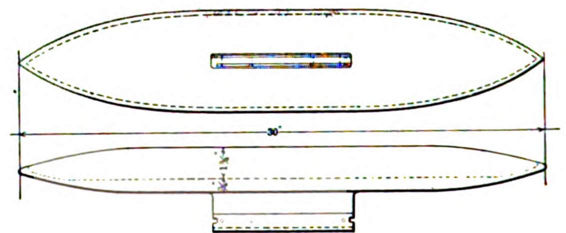


Fig. 9 et 10. — Sabot de contact du trôlet.

Les moteurs sont au nombre de 4, un pour chaque essieu; ils sont supportés élastiquement. Ils sont de forme pyramidale; chacun d'eux a 6 pôles et 6 paires de balais en charbon qui sont montées sur une culasse pouvant tourner de 360 degrés, afin de faciliter leur accès. On peut retirer 4 balais sans arrêter la marche du moteur. Les bobines inductrices

sont placées dans des cases en fer lamellaire, et enfilées sur les projections polaires; elles sont fixées à la carcasse du moteur. Les armatures sont enroulées en série. L'arbre creux de

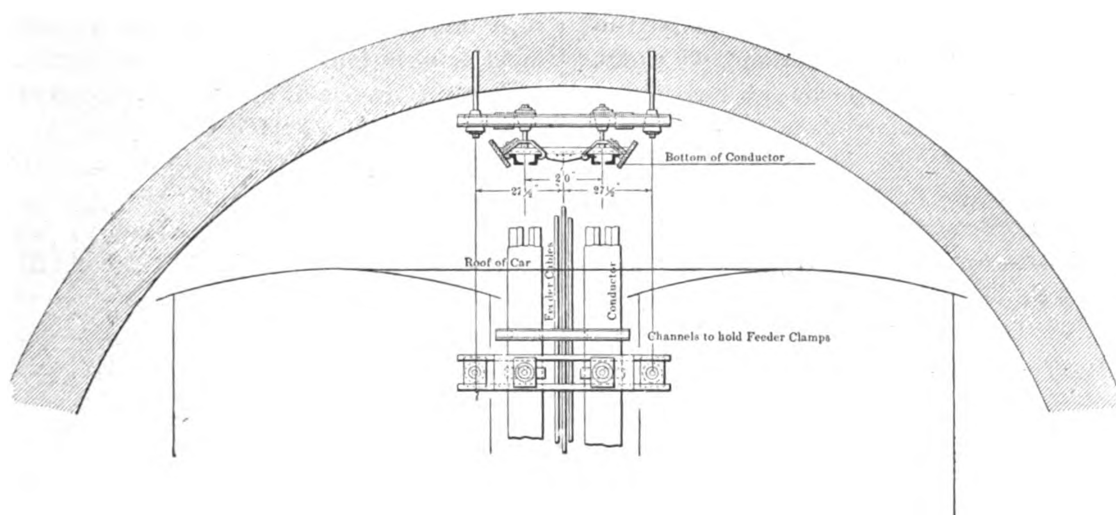


Fig. 11. — Section transversale du tunnel principal montrant le mode de suspension des conducteurs.

Bottom of conductor = Bas du conducteur; Roof of car = Toiture des wagons (on voit aussi, sur cette figure, entre les deux wagons, la projection horizontale de la suspension des conducteurs); Channels to hold Feeder Clamps = Canaux pour fixer les crampons des feeders; Feeder cables = Câbles d'alimentation; — Conductor = Conducteur.

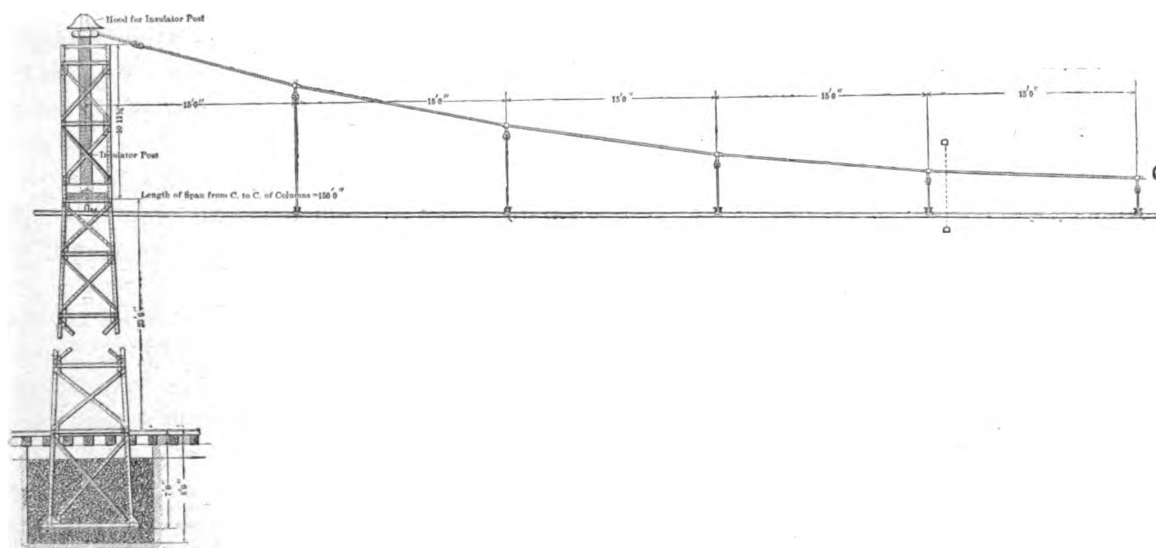


Fig. 12. — Coupe longitudinale de la suspension des conducteurs en alignement droit.

Hood for Insulator Post = Capuchon du poteau isolateur; Insulator post = Poteau isolateur; Length of spam from C. to C. of colums = 150'0"; Ecartement de centre en centre des colonnes = 45,5 m. environ.

l'armature repose dans des manchons solidaires de la carcasse des inducteurs; son diamètre intérieur est d'environ 6 1/4 cm. plus grand que le diamètre extérieur de l'essieu sur lequel il est enfilé, ce qui, avec les tampons élastiques des manchons d'accouplement,

empêche les chocs provenant des inégalités de la voie de se transmettre aux moteurs. Chaque moteur a une puissance normale de 360 chevaux, ce qui fait, pour l'ensemble, une puissance de 1 440 chevaux; chaque moteur prend 900 ampères en service normal et 300 volts; comme la tension de distribution est de 600 à 700 volts, les deux moteurs sur chaque truck sont montés en série. Le contrôleur est du type série-parallèle; les résistances sont placées autour de la charpente, sous le plancher de la cabine. Un coupe-circuit auto-

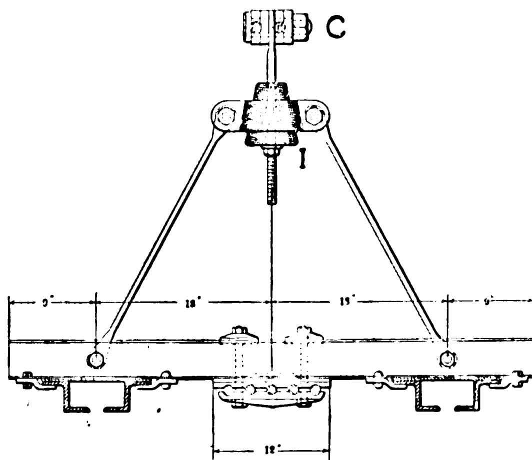


Fig. 13. — Coupe transversale suivant DD de la suspension des conducteurs en alignement droit.

matique, de 1 200 à 3 500 ampères, et un extincteur magnétique de 2 000 ampères, ainsi qu'un ampèremètre Weston de 5 000 ampères et un voltmètre Weston, complètent l'équipement électrique de la locomotive.

L'air comprimé nécessaire pour la manœuvre des freins, des sifflet et cloche d'alarme, est fourni par une pompe oscillante mue électriquement. L'intérieur de la cabine est éclairé par des lampes à incandescence.

La prise de courant se fait par un sabot de contact en cuivre, ayant la forme d'une navette. Ce trôlet est représenté par les figures 7 à 10. Le sabot de contact est supporté par un bras articulé qui assure un bon contact quelle que soit la hauteur du conducteur aérien, et qui peut être incliné d'un côté de la voiture ou de l'autre suivant le sens de la marche, afin venir au contact de ce conducteur aérien qui est placé sur le côté de la voiture, dans l'entrevoie; il ne peut se mouvoir dans le sens longitudinal de la voiture. Le courant est amené aux moteurs par des câbles fixés au sabot et attachés aux bras du trôlet.

Le conducteur aérien est placé au-dessus du milieu de la voie, lorsque celle-ci est à l'air libre, et dans l'entrevoie, sous le tunnel, comme le représente la figure 11. Cette disposition a été adoptée pour éviter que les serre-freins qui se tiennent sur la toiture des wagons à marchandises, ne puissent toucher accidentellement les conducteurs. Ceux-ci sont en outre masqués latéralement par des lattes en bois. Il s'étend sur une longueur de 4 575 m. environ. Il consiste en deux barres de fer en Z, de 7 1/2 cm. de hauteur, de 1 cm. d'épaisseur, rivées à une plaque supérieure de 0,6 cm. d'épaisseur et de 29,25 cm. de largeur. Il est construit en sections de 9,15 m. de longueur et pèse 45 kgs environ par mètre linéaire. Il est supporté, dans le tunnel, par des isolateurs en porcelaine fixés, tous les 4,55 m. environ, à des charpentes transversales (fig. 11). Les boulons qui fixent ces charpentes dans la maçonnerie du tunnel sont aussi isolés, afin d'éviter autant que possible les pertes à la terre. La hauteur des conducteurs au-dessus des rails est de 5,337 m. dans le tunnel et à l'air libre de 6,70 m.

En raison du poids considérable du conducteur, on a dû, hors du tunnel, adopter un mode de suspension particulier qui est représenté en figures 12 et 13. Les conducteurs sont fixés à une barre transversale (fig. 13) tous les 4.55 m. Ces barres sont soutenues à peu près comme le tablier d'un pont suspendu, par des chaînes C formées de tiges de fer et qui sont fixées tous les 45,5 m. à des traverses, placées au-dessus de la voie et soutenues par des colonnes en fer à jour, placées à l'extérieur des voies. Les chaînes C supportent les barres transversales par l'intermédiaire d'un étrier, isolé en I par un cône en porcelaine. Les chaînes sont elles-mêmes isolées, à leurs points de suspension

par des poutres en pin jaune, en sorte qu'on a, dans ce cas comme dans celui de la suspension sous le tunnel, un double isolement. Aux extrémités de la ligne, les conducteurs sont

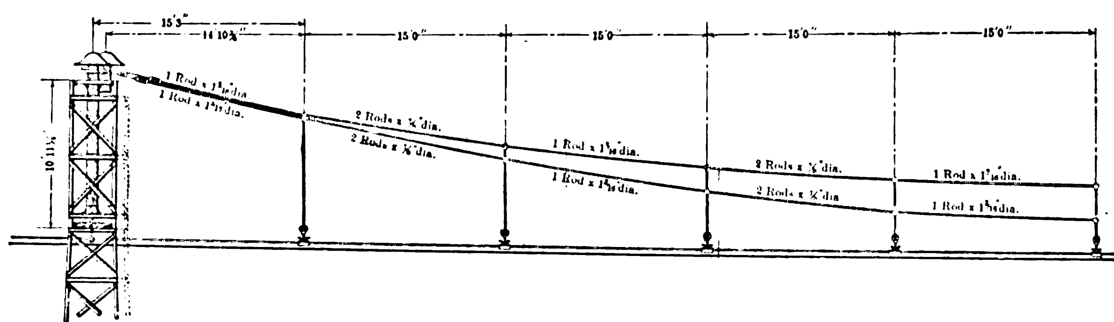


Fig. 14. — Coupe longitudinale de la suspension des conducteurs en courbe.
Rod = Tige; Dia = Diamètre.

ancrés à des piliers spéciaux. Les traverses qui servent à fixer les chaînes varient en longueur, de 9,15 m. à 18,90 m. suivant que la ligne comprend 2 ou 5 voies.

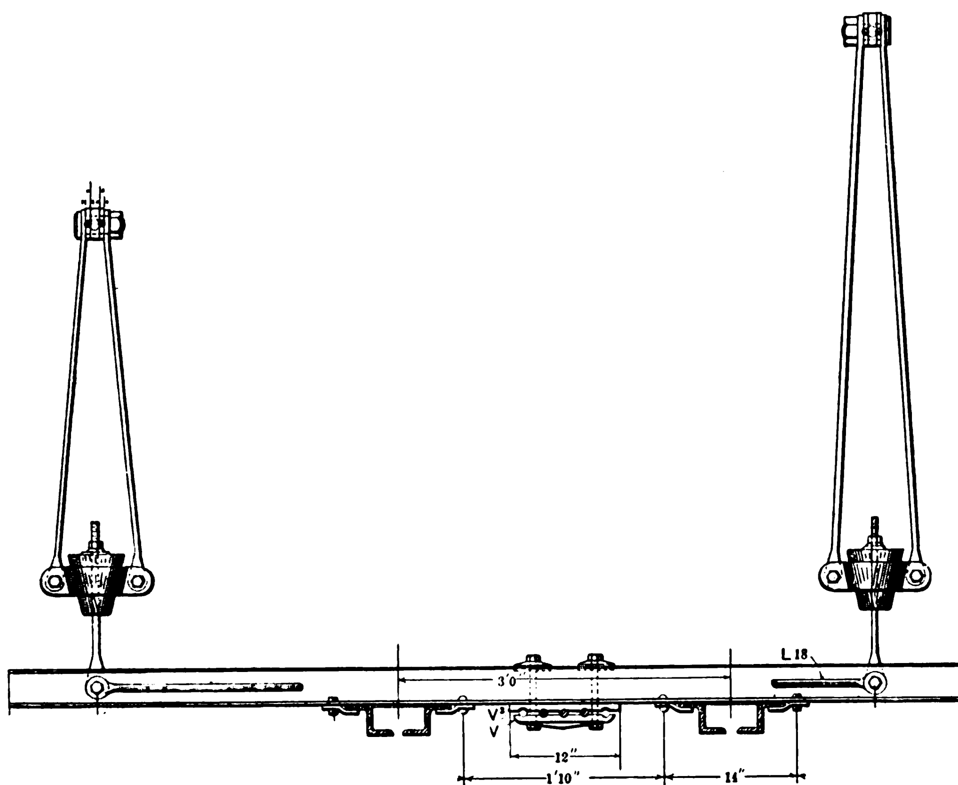


Fig. 15. — Coupe transversale de la suspension des conducteurs en courbe.

En alignement droit, les conducteurs sont suspendus à une seule chaîne, mais en courbe, on emploie une double chaîne (fig. 14 et 15); l'isolateur conique est alors renversé et supporté dans un bloc boulonné à deux tiges verticales qui descendent des chaînes. Les tiges

verticales supportent une charpente creuse à laquelle sont boulonnés les conducteurs et les crampons qui fixent les feeders. Chaque section des conducteurs est reliée électriquement à sa voisine par un éclissage électrique « Chicago », de deux fils de cuivre n° 0000.

Les feeders sont des câbles en cuivre nu à 61 brins. Il sont supportés par des crampons fixés dans les barres transversales, et rivés aux conducteurs aériens aux points choisis.

J. REYVAL.

QUELQUES PROPRIÉTÉS GÉNÉRALES DES CHAMPS MAGNÉTIQUES TOURNANTS (1)

II. — Méthode et formules pour le calcul des champs tournants et de leurs effets.

La méthode de calcul dont je vais parler et que j'ai déjà décrite (2) a pour but de simplifier les notations en ne faisant apparaître dans les formules que les nombres totaux de fils périphériques des circuits primaire et secondaire, N_1 et N_2, sans préoccupation du nombre des circuits à phases différentes suivant lesquels les spires sont divisées.

Elle consiste à employer des variables que j'appelle *vectorielles* et qui sont définies de la façon suivante (dans l'hypothèse de circuits symétriques pour toutes les phases).

Le courant vectoriel est égal au courant efficace dans chacun des circuits de phases différentes.

La force électromotrice vectorielle est le produit de la force électromotrice efficace étoilée (3) de l'une des phases par le nombre de phases ; par exemple dans le cas des courants triphasés à 110 volts étoilés, la force électromotrice vectorielle est

$$3 \times 110 = 330 \text{ volts.}$$

La résistance et la self-inductance vectorielles sont de même les produits de la résistance et de l'inductance de l'un des circuits par le nombre de ceux-ci.

Il est évident, puisqu'on multiplie à la fois la force électromotrice, la résistance et l'inductance par le même nombre, que les équations sont équivalentes à celles qu'on obtiendrait en raisonnant seulement sur un des circuits. On peut donc se demander quels sont les avantages d'une semblable méthode ; les voici, et il est facile de se rendre compte qu'ils sont sérieux :

1° Les équations établies restent les mêmes pour les moteurs diphasés et triphasés, et rendent les comparaisons très faciles entre les deux systèmes.

2° Elles sont indépendantes du nombre de phases du circuit secondaire, lequel ne peut généralement être déterminé qu'à la fin du calcul d'un moteur ; cela permet de faire ce calcul plus facilement que s'il fallait commencer par se donner au hasard le nombre des barres et des phases secondaires.

On va voir plus clairement ces avantages par les formules que nous allons établir pour la détermination des flux magnétiques, des forces électromotrices, des résistances et des inductances (1). Nous supposons d'abord exclusivement que les circuits polyphasés sont montés en étoile ; le cas du polygone sera traité ensuite.

Formule des flux. — Le problème qui se pose constamment dans les moteurs est de calculer la valeur en unités C. G. S. du flux magnétique tournant produit par un système symé-

(1) Voir l'*Eclairage électrique* du 10 août.

(2) *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, 19 février et 5 mars 1894.

(3) C'est-à-dire mesurée entre l'un des conducteurs et le point neutre. La force électromotrice mesurée entre deux conducteurs s'appelle force électromotrice polygonale pour la distinguer de la précédente.

(1) D'ailleurs nos formules s'appliquent aussi bien aux variables ordinaires en considérant N_1 comme le *nombre de fils par phase* ; le seul changement qu'il y ait à faire est alors de multiplier par le nombre de phases l'expression de la self-induction ; les autres expressions ne changent pas.

trique de courants polyphasés, défini par le nombre de phases, le nombre de bobines distinctes par phase et la disposition du circuit magnétique. Ce problème n'est pas susceptible d'une solution absolument rigoureuse par suite de la présence de noyaux de fer dont la perméabilité varie avec l'induction, mais on peut le résoudre approximativement d'une façon analogue à ce qu'on fait pour les machines à courants continus.

Considérons un moteur multipolaire, ayant $2p$ pôles, c'est-à-dire p champs tournants, et isolons sur l'inducteur G_1, et sur l'induit G_2 une tranche $A_1 A_2 B_2 B_1$ (fig. 14) correspondant précisément à la largeur d'un champ,

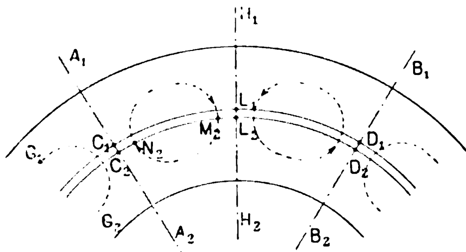


Fig. 14. — Parcours moyens des flux.

l'axe du pôle + étant par exemple sur le diamètre $C_1 C_2$ et les axes des pôles voisins sur les diamètres $A_1 A_2$ et $B_1 B_2$. Négligeons d'abord la réluctance du fer en comparaison de celle de l'entrefer.

Si l'on suppose le flux tournant produit par un enroulement idéal tel que celui défini plus haut, formé d'une série de conducteurs répartis uniformément sur la face $C_1 L_1 D_1$ sous forme de bobinage en tambour et parcourus par un très grand nombre de courants polyphasés de phases très voisines, l'intensité des courants au moment considéré varie le long de l'entrefer suivant la loi sinusoïdale

$$I = I_0 \sin 2\pi \frac{x}{L}.$$

I_0 étant l'intensité maxima.

Soit N' le nombre total de fils périphériques le long d'un champ double et b la longueur axiale du moteur.

On peut écrire immédiatement

$$\Phi = \frac{2\pi \left(\frac{4}{\pi^2} N'\right) I_0}{\mathcal{R}_e}$$

en désignant par $\mathcal{R}_e$ la réluctance offerte par l'entrefer au passage du flux

$$\mathcal{R}_e = \frac{2 \times e}{b \times \frac{L}{2}} = \frac{4e}{bL},$$

car le flux produit est le même que si l'on avait affaire à une seule bobine de la largeur $\frac{L}{2}$ contenant $\frac{4}{\pi^2} \frac{N'}{2}$ spires et réalisant le nombre d'ampères-tours

$$\frac{4}{\pi^2} \frac{N'}{2} I_0,$$

que nous avons appelé les « ampères-tours *équivalents* » du système. La partie du fer des noyaux primaires et secondaires comprise entre les dentures peut être traitée comme l'entrefer ; il suffit d'y déterminer les inductions moyennes en divisant le flux Φ par la section totale de passage entre les encoches et de chercher dans les tables de perméabilités les perméabilités μ_1 et μ_2 applicables à ces couronnes sur le primaire et le secondaire. En appelant e_1 et e_2 les hauteurs des dentures, L_1 et L_2, les sommes de leurs intervalles pour un champ, on aura les deux nouvelles réluctances [1]

$$\mathcal{R}_1 = \frac{4e}{bL_1\mu_1} \qquad \mathcal{R}_2 = \frac{4e_2}{bL_2\mu_2}.$$

Reste à tenir compte de la réluctance du fer des noyaux primaire et secondaire hors denture, réluctance que nous avons négligée jusqu'ici. Il suffit pour cela d'adopter le même mode de calcul approximatif que pour les flux fixes : on trace le trajet moyen des lignes de force [2], et on admet que sur leur parcours

(1) Dans le cas où les encoches sont fermées, il n'y a pas besoin de calculer la réluctance de la petite couche de fer comprise entre elles et l'entrefer, car elle est toujours négligeable.

(2) Les points de passage des lignes de force moyenne dans l'entrefer correspondent aux centres de gravité des surfaces de flux contenues chacune dans 1/4 de sinusoïde. La distance d'un de ces points à

l'induction reste sensiblement la même et a pour valeur le flux qui traverse le noyau (c'est-à-dire la moitié du flux total) divisé par la section transversale de ce noyau

$$\mathcal{B}_1 = \frac{\Phi_1}{2a_1 b}. \qquad \mathcal{B}_2 = \frac{\Phi_2}{2a_2 b}$$

a_1 et a_2 étant les largeurs des deux noyaux suivant le rayon hors denture.

Soit μ'_1 et μ'_2 les perméabilités correspondantes dans le primaire et le secondaire et l_1 et l_2 les longueurs des parcours moyens des lignes de force.

Les réluctances correspondantes aux noyaux sont finalement

$$\mathcal{R}'_1 + \mathcal{R}'_2 = \frac{l_1}{\mu'_1 a_1 b} + \frac{l_2}{\mu'_2 a_2 b}$$

et la réluctance totale du circuit magnétique parcouru par le flux commun Φ [1]

$$\mathcal{R} = \frac{1}{b}\left[\frac{4e}{L} + \frac{4e_1}{L_1\mu_1} + \frac{4e_2}{L_2\mu_2} + \frac{l_1}{\mu'_1 a_1} + \frac{l_2}{\mu'_2 a_2}\right].$$

L'enroulement inducteur étant équivalent à

$$\frac{4}{\pi^2}\frac{N'}{2}I_0$$

ampères-tours pour la production du flux dans l'entrefer, on peut admettre qu'il en est de même pour la production du flux dans le circuit total et poser en conséquence finalement

$$\Phi = 4\pi\frac{\frac{4}{\pi^2}\frac{N'}{2}I_0}{\mathcal{R}},$$

Nous avons le droit d'admettre que la même règle reste applicable lorsqu'on remplace l'enroulement idéal considéré jusqu'ici par un enroulement pratique, à la seule condition de substituer à celui-ci le nombre d'ampères-tours équivalents calculé plus haut et que nous désignerons par

$$K\frac{N'}{2}I_0,$$

en posant pour abréger

$$K = \left(\frac{2}{\pi}\right)^2 k.$$

Nous arrivons ainsi à la formule générale qui donne la valeur du flux tournant dynamique dans tous les cas possibles,

$$\Phi = \frac{2\pi K N' I_0}{\mathcal{R}} = \frac{2\pi K N' I\sqrt{2}}{\mathcal{R}},$$

ou si on appelle N le nombre total des fils du moteur $2p$-polaire ($N = p\,N'$)

$$\Phi = \frac{2\pi K N I\sqrt{2}}{p\mathcal{R}}.$$

Les valeurs de k et K sont résumées dans le tableau V.

TABLEAU V

VALEURS DES COEFFICIENTS DE CORRECTION k ET K POUR LE CALCUL DES FLUX ET DES F. E. M.

NOMBRE d'encoches par champ.	Valeurs de k.			Valeurs de K.		
	en triphasé	en diphasé	en monophasé.	en triphasé	en diphasé	en monophasé.
2	»	»	1,000	»	»	0,405
4	»	1,000	0,707	»	0,405	0,285
6	1,000	»	0,666	0,405	»	0,270
8	»	0,924	0,653	»	0,374	0,265
10	»	»	0,647	»	»	0,262
12	0,966	0,911	0,643	0,391	0,369	0,261
14	»	»	0,642	»	»	0,260
16	»	0,906	0,641	»	0,367	0,250
18	0,960	»	0,640	0,389	»	0,259
20	»	0,903	0,639	»	0,366	0,251
24	0,958	0,903	0,638	0,388	0,365	0,258
∞	0,953	0,900	0,637	0,386	0,365	0,258

Inversement les ampères-tours vrais nécessaires pour produire un flux donné Φ ont pour expression

$$\text{amp.-tours} = \left(\frac{N}{2p}I\right) = \frac{1}{K}\frac{\mathcal{R}\Phi}{4\pi}$$
$$= \frac{1}{K}(X_e + X_1 + X_2 + X'_1 + X'_2)$$

X_e X_1 X_2 X'_1 X'_2 représentant les ampères-tours nécessaires respectivement pour vaincre les réluctances de l'entrefer, des couronnes et des noyaux primaires et secondaires d'après le calcul exposé ci-dessus. Ces ampères-tours se déterminent par des tables comme pour les dynamos à courants continus.

---

l'axe du flux peut être très approximativement égale à $\frac{L}{6}$ (L étant la largeur développée d'un champ double).

[1] On verra plus loin que ce flux commun diffère un peu de Φ_1 et Φ_2.

On verra plus loin comment ces expressions doivent être modifiées pour tenir compte des fuites magnétiques.

Forces électromotrices induites. — Les forces électromotrices produites dans les enroulements primaire ou secondaire se calculent comme dans un alternateur quelconque. On a vu plus haut qu'on peut toujours supposer sinusoïdale la répartition du flux tournant dynamique ou tout au moins le flux principal donné par le premier harmonique. En appelant $\mathfrak{B}_0$ l'induction maxima du champ et S la surface utile d'entrefer sous un pôle tournant, ce flux principal a donc pour valeur totale

$$\Phi = \frac{2}{\pi} \mathfrak{B}_0 \times S.$$

Dans les moteurs ordinaires, chaque circuit induit est formé de spires qui embrassent chacune la largeur $\frac{L}{2}$ et peuvent être traversées, à un moment donné, par tout le flux (en exceptant les fuites dont on parlera plus loin). La force électromotrice sera donc, en appelant T le temps que met le flux à se déplacer de la largeur d'un champ par rapport à l'induit :

$$e = \frac{2\pi}{T} \frac{\Phi}{\sqrt{2}} = \Omega \frac{\Phi}{\sqrt{2}}$$

en posant $\frac{2\pi}{T} = \Omega$

Si, au lieu d'une spire, on considère une *bobine* enroulée dans une paire d'encoches et comprenant n fils périphériques, elle sera le siège d'une force électromotrice totale $\frac{n}{2}$ fois plus grande, c'est-à-dire

$$e = \frac{\Omega n \Phi}{2\sqrt{2}}$$

Enfin, si l'on considère un circuit comprenant plusieurs bobines plus ou moins décalées dont le nombre total de fils périphériques soit n', la force électromotrice se trouve réduite par le chevauchement des spires et pourra s'écrire, en appelant k un coefficient de correction convenable

$$e = k \frac{\Omega n' \Phi}{2\sqrt{2}}.$$

La force électromotrice *vectorielle* étant la somme des forces électromotrices efficaces supposées de même phase dans tous les circuits polyphasés, sera donc, en appelant N le nombre de fils total dans un champ ;

$$E = \frac{k \Omega N \Phi}{2\sqrt{2}}.$$

Si l'on admet que les circuits de même phase des divers champs sont tous reliés en série, la même formule s'applique aux moteurs multipolaires, en désignant par N *le nombre total de fils périphériques de l'enroulement* et par Φ *le flux d'un seul champ*.

Les valeurs du coefficient k, applicables en pratique, se déterminent exactement comme on l'a fait à l'occasion des flux : les spires des diverses paires d'encoches étant décalées d'un certain angle, les forces électromotrices qui s'y produisent ne sont pas en concordance de phase, et leur addition doit être faite en tenant compte du décalage. Par exemple, dans un enroulement triphasé à 12 encoches comprenant N′ fils par champ, il y a en réalité 6 bobines de $\frac{N'}{12}$ spires chacune; chaque circuit comprend deux bobines dont les forces électromotrices son décalées de $\frac{T}{6}$, T étant la période. La valeur de la force électromotrice d'un circuit total multipolaire est donc

$$\Omega \frac{N}{12} \frac{\Phi}{\sqrt{2}} \left[\sin 2\pi \frac{t}{T} + \sin 2\pi \left(\frac{t}{T} + \frac{1}{12} \right) \right],$$

et sa moyenne efficace

$$e = \Omega \frac{N}{12} \frac{\Phi}{\sqrt{2}} \times 2 \cos \frac{\pi}{12}$$
$$= \Omega \frac{N}{6} \frac{\Phi}{\sqrt{2}} 0{,}966.$$

D'où la force électromotrice vectorielle,

$$E = 3e = \frac{\Omega N \Phi}{2\sqrt{2}} \times 0{,}966,$$

c'est-à-dire $k = 0{,}966$.

En raisonnant de même pour tous les autres cas, on retrouve pour k les mêmes chiffres

que plus haut; on n'a donc qu'à recourir au tableau V.

On voit qu'à nombre égal d'encoches la force électromotrice vectorielle est sensiblement moindre pour le système diphasé que pour le triphasé, et plus faible encore pour le monophasé.

Coefficients d'induction cycliques. — Sachant calculer le flux produit par des courants donnés et la force électromotrice induite par un flux, rien de plus facile que d'établir les formules des coefficients d'induction des circuits; chacun d'eux est, par définition, égal au rapport de la force électromotrice induite au courant qui la produit multiplié par la vitesse de pulsation Ω. Soit N_1 et N_2 les nombres totaux des fils de deux circuits polyphasés à p champs, ce qui fait $\frac{N_1}{p}$ et $\frac{N_2}{p}$ fils périphériques par champ; le circuit primaire alimenté par des courants polyphasés d'intensité I, produit p flux tournants égaux chacun à

$$\Phi = \frac{2\pi K_1 \frac{N_1}{p} I_1 \sqrt{2}}{\mathfrak{R}}.$$

Ceux-ci induisent dans le circuit voisin (supposé couplé tout en série) une force électromotrice vectorielle totale

$$E_2 = \frac{k_2 \Omega N_2 \Phi}{2\sqrt{2}}.$$

Le coefficient d'induction mutuelle est donc

$$\frac{E_2}{\Omega I_1} \frac{\pi K_1 k_2 N_1 N_2}{p\mathfrak{R}}.$$

De même, les coefficients de self-induction des deux circuits considérés, ont pour expressions analogues :

$$\lambda_1 = \frac{\pi K_1 k_1 N_1^2}{p\mathfrak{R}}$$

$$\lambda_2 = \frac{\pi K_2 k_2 N_2^2}{p\mathfrak{R}}.$$

Si j'emploie ici les symboles λ_1, λ_2 de préférence aux notations classiques L_1 et L_2, c'est pour rappeler que ces coefficients d'induction dits *cycliques* englobent les effets de réaction de circuit à circuit dans chaque enroulement polyphasé.

Si l'on tient compte des valeurs données plus haut dans les tableaux de K et k pour comparer les self-inductances vectorielles d'un même moteur à 24 encoches par champ, on trouve des valeurs qui sont dans le rapport

1	pour	les	courants	triphasés
0,788	»	»	»	diphasés
0,444	»	»	»	monophasés

en admettant mêmes valeurs du flux et des inductions.

Les valeurs de λ_1, λ_2 changent évidemment avec les perméabilités des milieux, tout comme la réductance $\mathfrak{R}$ dont elles dépendent.

Résistances vectorielles. — Par définition, la résistance vectorielle d'un moteur dont les champs sont supposés couplés en série, est la somme des résistances de toutes les spires mises bout à bout. Dans un induit en cage d'écureuil, ce sera donc la somme des résistances de toutes les barres, additionnée des résistances des deux cercles de bases.

Facteurs de réactance. — Le facteur de réactance d'un circuit sera, par définition, le rapport de sa réactance vectorielle à sa résistance vectorielle

$$m = \frac{\Omega\lambda}{r}.$$

Dans le cas d'un bobinage en fil, ce rapport peut s'exprimer sous une forme intéressante en fonction des éléments géométriques et magnétiques de la construction. Appelons en effet a la section *totale* des fils contenus dans les encoches de l'enroulement considéré, section mesurable sur une coupe de l'appareil, l la longueur moyenne d'une spire, ρ la résistance spécifique. La résistance vectorielle r a pour expression

$$r = \frac{\rho l}{a} N^2.$$

D'où, en tenant compte de l'expression de λ

$$\frac{\Omega\lambda}{r} = \frac{\Omega\pi K k}{p\mathfrak{R}} \frac{a}{\rho l}.$$

Si l'on néglige le rôle peu important de K et k on voit que le facteur de réactance d'un

enroulement est sensiblement indépendant du nombre de spires et ne dépend que de la section totale de cuivre employé, de la longueur moyenne d'une spire et du produit $p\mathfrak{R}$, lequel varie assez peu d'ailleurs quand on modifie le nombre de pôles.

Cas du montage des circuits en polygone. — Dans le cas où l'on emploie trois phases et plus, le montage étoilé est souvent remplacé par le montage polygonal, soit définitivement soit momentanément.

Supposons que le nombre et la section des fils restent les mêmes et qu'on se contente de changer le groupement des circuits ; lorsqu'on remplace l'étoile par le polygone, la force électromotrice induite d'un circuit par un flux donné est réduite dans un certain rapport $\frac{1}{h}$; on sait que $h = \sqrt{3}$ dans le système triphasé et $\sqrt{2}$ dans le système tétraphasé. Si on désigne encore par I le courant pris par le moteur à chacun des conducteurs du réseau, le courant dans chacun des circuits du moteur devient $\frac{I}{h}$; si l'on veut reproduire le même flux Φ que dans le montage étoilé, il faut ramener ce courant à la valeur I, et par suite, demander au réseau des courants h fois plus forts que précédemment.

On voit en même temps que la résistance et la self-inductance d'un enroulement sont réduites dans le rapport $\frac{1}{h^2}$ par le changement du montage étoilé en montage polygonal.

(*A suivre.*) ANDRÉ BLONDEL.

REVUE

DE LA PRESSE INDUSTRIELLE

ET DES INVENTIONS

Câble à faible capacité Felten et Guillaume (1894).

L'isolement du conducteur b est constitué par une matière végétale, fibre, liège, etc. a, c, saturée d'huile ou de paraffine, avec couver-

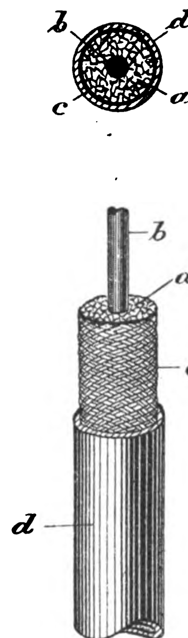


Fig. 1 et 2. — Câble à faible capacité Felten et Guillaume.

ture en plomb d : la porosité de c assure au câble une faible capacité.

G. R.

Porte-balais du professeur Elihu Thomson.

Dans les porte-balais ordinaires, les axes sur lesquels les balais sont individuellement montés sont généralement diamétralement opposés dans un plan passant par le centre de l'arbre de la machine. Il en résulte naturellement que, si le balai, appliqué pour la première fois, peut bien être placé de la manière la plus avantageuse, sa position, par rapport au commutateur, change constamment au fur et à mesure que s'use ce dernier, ce qui détermine la destruction et le fonctionnement irrégulier tant des deux balais que du commutateur.

En vue de maintenir constante la position du balai pendant toute son existence et d'égaliser sa pression sur le commutateur, le professeur Elihu Thomson a imaginé le montage représenté par les figures ci-jointes.

Comme on le voit, les balais, dont une des extrémités porte sur le commutateur, sont montés dans une position telle que leur déplacement peut s'effectuer, non pas dans un plan passant par le centre de l'arbre, mais dans des plans parallèles qui coupent le commutateur respectivement au-dessus et au-dessous du plan parallèle passant par l'axe. Les balais sont maintenus dans des gaines montées sur des supports oscillants de telle sorte que, si, par suite de leur usure ou de celle du commutateur, les gaines s'approchent ou s'écartent davantage du centre de l'arbre, le contact reste aussi bon.

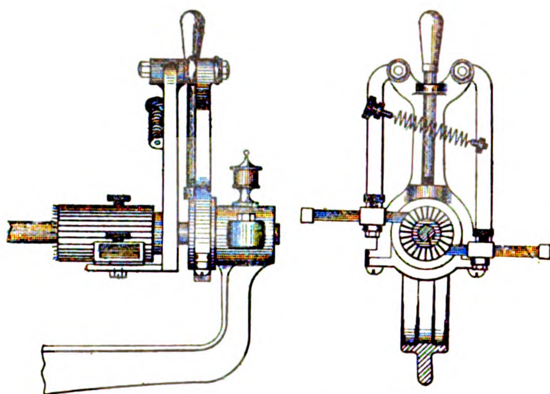


Fig. 1. — Porte-balais Elihu Thomson.

L'élément important du système réside dans la disposition spéciale employée pour maintenir constamment le parallélisme exact du balai et de sa gaine à la surface du commutateur. Elle consiste dans la liaison parallèle de la gaine de balai avec son support, de telle sorte que les balais sont toujours parallèles à un plan donné.

E. B.

Fanal électrique de locomotives.

Lorsque la lampe à arc fit son apparition comme appareil pratique et commercial, une des premières idées qui se présentèrent fut de l'employer comme fanal pour les locomotives. Mais les conditions de trépidations dans lesquelles se trouve une lampe à arc ainsi employée en tête de machine rendent très difficile son agencement comme fanal. A cette difficulté est venue s'ajouter la répugnance des Compagnies de chemins de fer et des mécaniciens à charger les locomotives, déjà si encombrées, d'un appareil de plus sous forme du moteur et de la dynamo nécessaires à la production du courant. La solution du problème présentait en conséquence de nombreuses difficultés. Cependant, après une longue série d'études et d'expériences, M. G. Pyle, d'Indianopolis, vient, dit notre confrère *The Electrical Engineer*, de New-York, de réussir à produire un fanal de locomotive qui paraît devoir satisfaire à toutes les exigences de la pratique.

L'application en a été faite sur une ligne américaine où elle fonctionne depuis six semaines. Le système de moteur et de dynamo se trouve immédiatement derrière le fanal, et ses dimensions ne sont guère que la moitié de celles de la lanterne. Un demi-tour de valve de 1,25 cm. laisse passer assez de vapeur pour assurer la marche du moteur qui est une turbine à vapeur compound avec laquelle il est indifférent d'employer de la vapeur sèche ou humide, et de lancer subitement un plein jet de vapeur sous haute pression, la machine n'étant sujette à aucun coup de bélier. Le poids de l'arbre d'induit et de la roue de la turbine n'est que de 18,154 kg.; les coussinets ont 8,9 cm. de diamètre sur 16,5 de long, ce qui leur assure une longue durée. Le moteur démarre dès qu'on y lance la vapeur, et la lumière est fixe, puissante et sûre. La suspension de la dynamo est si parfaite qu'on ne voit pas la moindre étincelle à ses balais, alors même que la machine marche à toute vitesse et tend, par sa trépidation et ses rapides vibrations, à faire sauter les balais sur le commutateur.

E. B.

Perturbations causées aux instruments de mesures électriques.

Dans une de ses dernières réunions, la *Société électrotechnique de Berlin* a discuté la question des inconvénients résultant, pour les laboratoires de physique, du voisinage des tramways électriques, et étudié les remèdes qu'on pourrait y apporter. Le Dr *Kohlrausch*,

président de l'Institut impérial physico-technique, se référant à des expériences faites le 27 mai dernier à Charlottenbourg, a exposé que ce voisinage se traduisait pour les instruments délicats de mesures de cet établissement, par une perturbation considérable se manifestant par une déviation de 1′ 12″ au galvanomètre, ce qui est un obstacle absolu à toute observation précise. Si ces dérangements dus au retour du courant par la terre ne peuvent être supprimés, comme on n'est que trop fondé à le craindre, l'Institut ne pourrait qu'appuyer toute proposition tendant à remplacer sur la ligne de Berlin-Charlottenbourg la traction électrique par la traction animale. La déviation maxima qu'il lui soit possible de tolérer, comme directeur de l'Institut, est de 6″.

M. *Wilh. v. Siemens* estime de son côté qu'il serait possible de réduire de différentes manières les perturbations au maximum concédé; un de ces moyens consisterait à exploiter l'une des deux voies avec un courant positif sous 500 volts, et l'autre voie avec un courant négatif de même tension, ce qui équilibrerait vraisemblablement le courant de retour par la terre.

M. *Slaby* est d'avis que, en perspective du développement sans cesse croissant de la traction électrique, les Sociétés de physique doivent se résigner à un mal inévitable et s'ingénier, par des perfectionnements apportés à leurs instruments, à combattre ces dérangements; mais le Dr *Dubois* a énergiquement combattu cette manière de voir assez sommaire, en s'appuyant sur ce que les appareils en question ont déjà atteint les limites extrêmes de sensibilité.

Le Dr *Kohlrausch* a donné ensuite lecture d'un passage d'une lettre de Werner von Siemens s'appliquant à l'Institut et engageant les ingénieurs-électriciens, dans leur propre intérêt, à prendre en due considération les exigences de la science. Sur quoi, en manière de conclusion, le professeur *Dorn* a recommandé, pour éviter toute difficulté, l'adoption du système de traction électrique par double-trôlet.

E.-B.

Pied de poteau télégraphique Siemens et Perry (1894).

Ce pied est formé par un manchon conique en acier A, à pointe B, dans laquelle le tube

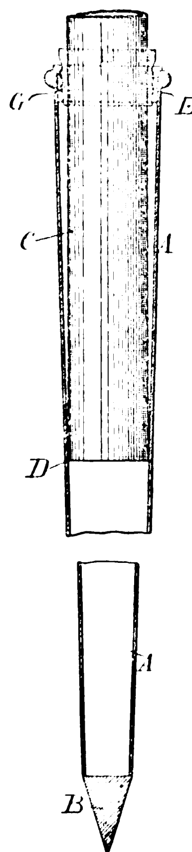


Fig. 1. — Pied de poteau télégraphique Siemens et Perry.

poteau, enfoncé jusqu'en D, est serré par le vissage du collier E sur la bague fendue G.

C. R.

Revendication américaine de priorité pour la télégraphie sans fils.

A propos de l'intérêt croissant qui s'attache aux essais de télégraphie sans fils, tant en Amérique qu'en deçà de l'Atlantique (1), M. Dolbear mentionne dans l'*Electrical*

(1) Voir la communication de M. Preece au dernier meeting de l'Association Britannique. *L'Eclairage Electrique*, t. II, p. 227, 2 février 1895.

Engineer certains faits oubliés ou inconnus destinés à rendre à chacun ce qui lui est dû. Il fait observer que le procédé récemment employé en Angleterre avec tant de succès pour télégraphier à travers une couche d'eau sur une largeur de trois et quatre milles (terrestres 4830 et 6440 m. ? ou nautiques 5560 et 7410 m.?), sans câble entre les deux postes, a été complètement décrit par le Prof. John Trowbridge, de l'Université d'Harvard, en 1880. Ses expériences originales ont été faites entre l'Observatoire de Cambridge et la ville de Boston, entre lesquels existe un fil indicateur de l'heure dont le circuit est rompu toutes les secondes par une horloge. Il a constaté qu'il pouvait entendre les battements de l'horloge à une distance d'un mille (1610 ou 1850 m.?) de la ligne, en reliant un téléphone à un fil de 150 à 180 m. de long et mettant leurs extrémités à la terre parallèlement au circuit.

Ses expériences et ses conclusions sont relatées en détail dans un mémoire lu devant l'Académie américaine des Arts et des Sciences et figurent dans les comptes rendus de cette Compagnie pour 1880. L'extrait suivant desdits comptes rendus indique comment il réalisa cette transmission télégraphique en employant la terre comme conducteur.

« La possibilité théorique de télégraphier à « travers de grandes masses d'eau ressort « nettement de l'étude que j'en ai faite.

« Théoriquement il est possible de télégraphier sans câble à travers l'Atlantique. On « pourrait établir de puissantes dynamos en « un certain point de la Nouvelle-Ecosse en « mettant à la terre une des extrémités de « leur circuit dans le voisinage et l'autre dans « la Floride, en employant un fil conducteur « de grande conductibilité et soigneusement « isolé de la terre sauf à ses deux extrémités. « En explorant les côtes de France on trouve-« rait alors deux points ou deux surfaces « situés à des potentiels différents, et, au « moyen d'un téléphone de faible résistance, « on entendrait en France les signaux d'un « appareil Morse envoyés de la Nouvelle-« Écosse dans la Floride. »

C'est précisément cette méthode qui est appliquée en Angleterre. Les divers procédés décrits et les opérations citées ne mentionnent pas le travail de Trowbridge ; mais quels que soient les avantages et l'utilité de ce mode de télégraphier, il en a le mérite. Peu de temps après la publication du travail susmentionné le Dr Edward Everett Hale a écrit pour l'*Atlantic Monthly* une petite histoire dans laquelle ces courants de couche terrestre jouaient un rôle important. L'auteur ajoute n'avoir d'ailleurs vu enregistrée nulle part la découverte, car c'en est une et non sans importance, qu'on pouvait percevoir de faibles courants à des distances relativement grandes de leur source, à l'aide d'un téléphone relié à la terre.

E. B.

Éclairage électrique des trains (1894).

On a souvent proposé de monter une petite dynamo sur l'axe des roues d'une voiture en marche afin d'engendrer le courant nécessaire à l'éclairage de cette voiture, à sa ventilation, etc.; mais l'irrégularité de la vitesse est un inconvénient grave; on doit recourir à l'emploi d'accumulateurs et de conjoncteurs disjoncteurs. Les dispositions sont à peu près les mêmes que celles qu'on doit adopter pour l'utilisation de la puissance fournie par des moulins à vent. L'ensemble, toujours compliqué, de ces installations les rend peu susceptible d'applications pratiques sérieuses pour l'éclairage électrique des trains. Pourtant, les inventeurs ne se découragent pas.

M. Isaac Newton Lewis, pense résoudre le problème en employant une dynamo à excitation constante indépendante et en intercalant une résistance variable dans le courant principal fourni par l'armature. L'excitation du champ magnétique est obtenue par une dérivation prise aux bornes de la batterie d'accumulateurs.

La figure 1 fait voir l'ensemble des dispositions adoptées. La dynamo D est entraînée par un train d'engrenages, avec renvois d'an-

gle, par l'essieu de la voiture; l'arbre vertical est muni d'un joint universel, afin d'assurer une marche régulière en dépit des oscillations de la voiture, et d'un régulateur à force centrifuge 19, dont le rôle est de modifier automatiquement la résistance extérieure, au moyen d'un commutateur M, lorsque varie la vitesse. Nous représentons à part, à une plus grande échelle (fig. 2) le régulateur; la figure 3 donne le schéma des circuits, très facile à comprendre; entre la dynamo 90 et la batterie d'accumulateurs 12, qui alimente les lampes, sont intercalés : un commutateur C^4 qui change automatiquement les contacts lorsque le sens de la marche est renversé, et le commutateur M qui sert à modifier la résistance R intercalée dans le circuit.

La touche 40 qui établit les communications entre les secteurs du commutateur C^4 est commandée par l'arbre vertical 122, au moyen d'un sabot à frottement 42, pressé sur lui par un ressort 43; un doigt 45, qui vient buter sur

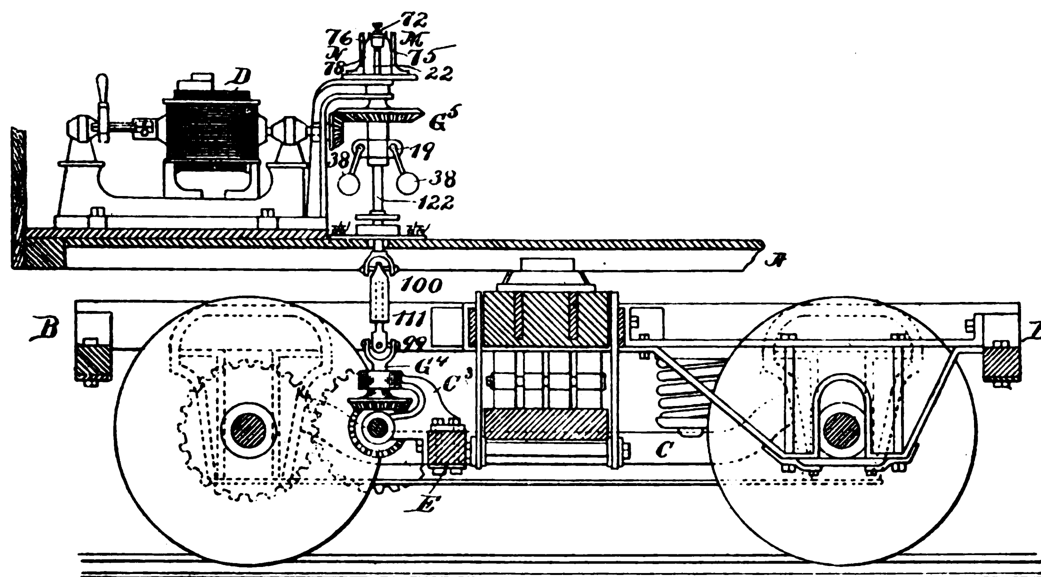


Fig. 1. — Disposition Lewis pour l'éclairage électrique des trains.

des chevilles 46 ou 47, en limite les mouvements. Suivant le sens de la rotation, la touche 40 est entraînée dans un sens ou dans l'autre, et établit les communications en sens opposés, par les segments a^1, b^1, c^1; afin de maintenir constant le sens du courant de charge de la batterie.

Le commutateur M est commandé par la tige 22 du régulateur 19. Il se compose de deux ressorts 75 et 76, en communication un avec l'autre, et qui frottent, l'un sur la lame conductrice continue M, en contact avec l'un des pôles de la batterie, et l'autre sur la lame N, à plusieurs touches isolées les unes des autres. La touche 78 règne sur toute la longueur d'un côté; elle sert à compléter le circuit en dérivation pour l'excitation des inducteurs 90. Dès que la rotation est suffisamment rapide, les ressorts s'abaissent et le ressort 76 vient en contact avec 78. La dynamo est dès lors excitée et fournit du courant. Lorsque la vitesse est suffisante pour que la force électromotrice induite dépasse celle de la batterie, le ressort 76 vient en contact avec la première des touches 79 et ferme le circuit de l'armature. Lorsque la vitesse augmente, le ressort 76 vient successivement en contact avec les touches suivantes et introduit une résistance R proportionnelle à la vitesse.

On voit que cette disposition sert à la

fois de régulateur et de conjoncteur disjoncteur.

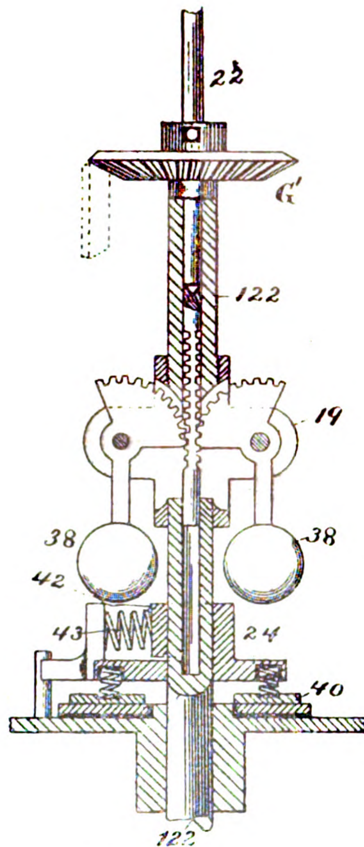


Fig. 2. — Régulateur.

MM. William Biddle et *Patrick Kennedy* disposent leurs appareils de la façon suivante, (fig. 4 et 5.)

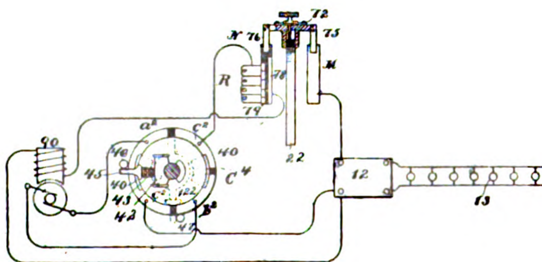


Fig. 3. — Schéma des circuits.

L'arbre G de la dynamo est entraîné par une roue K engrenant avec un pignon I fixe sur cet arbre. La roue dentée K est folle sur l'essieu A du wagon; un manchon B, serré sur l'arbre A au moyen d'écrous 2, 2, et un embrayage L, 7, 8, qui fixe la roue K sur l'essieu A, permettent de mettre la dynamo en marche ou de l'arrêter à volonté par la simple manœuvre d'un levier M. La dynamo porte sur ses épanouissements polaires, C, D, au moyen d'écrous 3, 4, un collier H, qui passe sur le manchon B sans frottement; à l'autre extré-

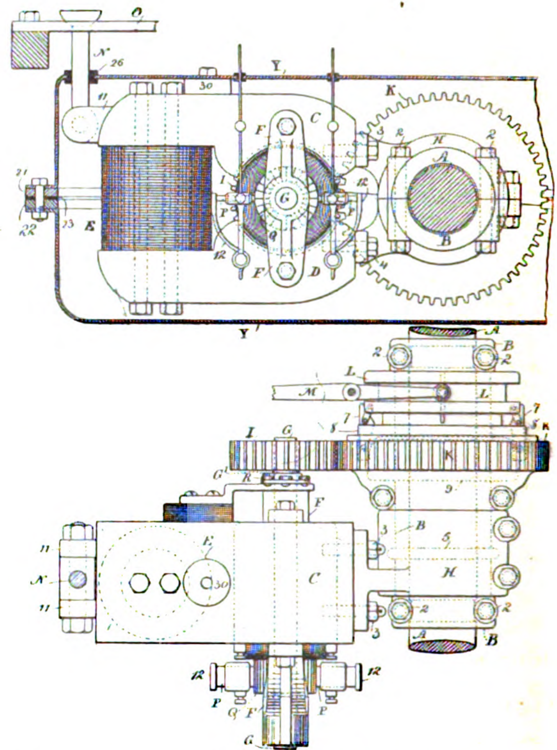


Fig. 4 et 5. — Disposition W. Biddle et P. Kennedy.

mité, elle porte des bras 11, qui, au moyen d'anneaux N, servent à la suspendre au truck O. De cette façon, la dynamo oscille autour de l'axe A et l'entraînement par les engrenages est très doux.

La dynamo est à enroulement compound E, (fig. 6). Le courant passe par un commutateur inverseur R, manœuvré automatiquement au moyen du bras S et de l'excentrique G', solidaire de l'arbre de la dynamo, de façon que le courant ait toujours la même direction dans le circuit extérieur, où sont montées en dérivation la batterie T et les lampes 15. Un électro-

aimant V en dérivation, sert à intercaler dans le circuit de la dynamo une résistance considérable W, qui empêche la batterie de se décharger dans ce circuit lorsque la vitesse tombe au-dessous d'une certaine valeur.

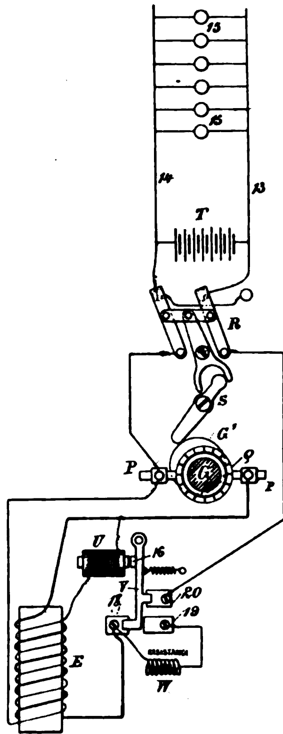


Fig. 6. — Schéma des circuits.

G. P.

Calcul des moteurs polyphasés, par H. Cahen (¹).

Les applications pratiques des courants triphasés ont pris aujourd'hui une grande extension ; mais leur théorie présente encore de nombreux défauts. Cela peut provenir de ce qu'en beaucoup de cas les résultats pratiques des installations à courants monophasés s'appliquent directement aux courants triphasés. Mais on manque encore de détails pratiques sur les installations en service. Les études les plus récentes sur ce sujet sont celles de M. Behn-Eschenburg et de M. Heyland (²). Dans la première de ces études, il est démontré que les méthodes purement analytiques ne conduisent pas à des résultats bien démonstratifs. L'autre étude traite la question seulement par la voie graphique.

Dans ce qui suit nous allons combiner les deux méthodes. Les diagrammes serviront à déduire des formules plus simples et plus maniables, permettant de calculer les conditions de fonctionnement des moteurs.

Nous admettrons que toutes les variables sont des fonctions sinus, et nous emploierons les désignations suivantes :

p_1 = fréquence du courant excitateur (égale à la vitesse angulaire du champ tournant).

p_2 = vitesse angulaire de l'induit.

c_1 et c_2 = nombre de bobines des systèmes inducteur et induit.

w_1 et w_2 = nombre de spires par bobine inductrice et induite.

r_1 et r_2 = résistance d'une bobine inductrice ou induite.

E_1 et E_2 = force électromotrice totale des systèmes inducteur et induit.

I_1 et I_2 = courants inducteur et induit.

W_1 et W_2 = puissances fournie et utile.

V_1 et V_2 = perte dans les systèmes inducteur et induit.

N_1 et N_2 = nombres de lignes de force des systèmes inducteur et induit.

$E = w_1 p_1 N_1$ = force contre-électromotrice induite dans le courant excitateur.

S = angle de décalage entre E_1 et I_1.

$\frac{\pi}{2} + \psi$ = angle de décalage entre I_1 et I_2.

L_1 et L_2 = coefficients de self-induction.

M_1 et M_2 = coefficients d'induction mutuelle.

$\gamma = \frac{W_2}{W}$ = rendement du moteur.

ζ = couple du moteur.

L_1 et M_1 sont établis de façon qu'un courant polyphasé excitateur I_1 produise un champ tournant de $\frac{L_1}{w_1} I_1$ lignes de force dans le système inducteur et de $\frac{M_1}{w_1} I_1$ dans l'induit. (De même pour L_2 et M_2.)

(¹) *Elektrotechnische Zeitschrift*, 24 janv. 1895.
(²) *Elektrotechnische Zeitschrift*, nᵒˢ 13 et 41, 1894.

Les relations suivantes existent alors :

$$L_1 : L_2 = C_1 w_1^2 A_1 : c_2 w_2^2 A_2,$$
$$M_1 : M_2 = c_1 : c_2,$$
$$M_1 M_2 = (1 - \sigma) L_1 L_2.$$

σ présente ici une valeur dépendant de la dispersion magnétique, tandis que A_1 et A_2 sont déterminés par la construction du moteur et ne diffèrent que peu entre eux. Nous pouvons, dans ce qui suit, poser $A_1 = A_2$ et considérer les valeurs de L, M et σ comme des constantes.

Le champ tournant produit par le courant I_1 et tournant avec la vitesse angulaire p_1 induit dans l'armature un courant polyphasé de

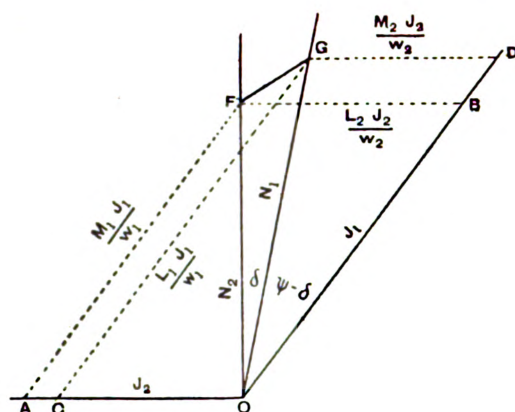


Fig. 1.

la période $p_1 - p_2$. Ce dernier produit dans l'armature un champ tournant avec la vitesse $p_1 - p_2$, et si nous ajoutons à celle-ci la vitesse p_2 de l'armature, nous retrouvons p_1 comme vitesse résultante du champ tournant induit. Les deux champs, tournant avec la même vitesse, se composent pour former le champ réel. Ce dernier comporte donc :

1° Le nombre de lignes de force N_1 de système inducteur ;

2° Le nombre de lignes N_2 de l'armature ;

3° Les lignes de force perdues $N_1 - N_2$.

La figure 1 donne le diagramme de ces grandeurs. Dans ce diagramme on a :

$$OA = \frac{L_2 I_2}{w_2}, \quad OB = \frac{M_1 I_1}{w_1}, \quad OF = N_2 ;$$

et

$$OC = \frac{M_2 I_2}{w_2} = OA\sqrt{1-\sigma}, \quad OD = \frac{L_1 I_1}{w_1} = \frac{OB}{\sqrt{1-\sigma}} ;$$

de plus,

$$OG = N_1, \quad OF = N_2, \quad FG = N_1 - N_2.$$

En appelant δ l'angle entre N_1 et N_2, nous avons encore les relations suivantes :

$$\operatorname{tg} \psi = \frac{(p_1 - p_2) L_2}{r^2}, \qquad (1)$$

$$\operatorname{tg} \delta = \sigma \operatorname{tg} \psi, \qquad (2)$$

$$\frac{N_2}{N_1} = \cos \delta \sqrt{1 - \sigma} \qquad (3)$$

Le champ tournant dans l'armature est donc décalé de δ par rapport au champ inducteur.

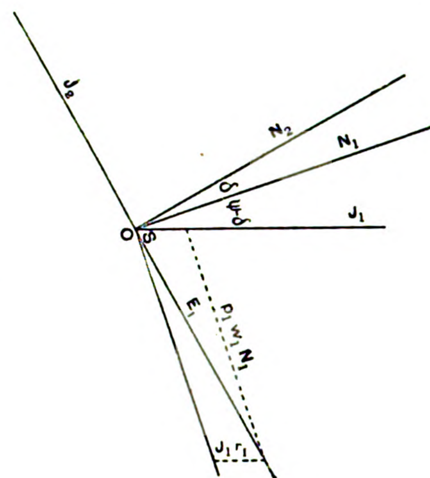


Fig. 2.

L'introduction de cet angle δ contribue beaucoup à la simplification des formules.

La figure 2 montre la décomposition de la f. é. m. excitatrice E_1 en force contre-é. m. $E = p_1 w_1 N_1$ et $I_1 r_1$. Nous en tirons les expressions du courant déwatté et du courant utile. Le premier coïncide en direction avec N_1, le second est perpendiculaire au premier :

Courant déwatté :

$$I_1 \cos\left(\psi - \delta\right) = \frac{E_1}{r_1} \cos\left(\psi - \delta + \Phi\right).$$

Courant utile :

$$I_1 \sin\left(\psi - \delta\right) = \frac{M_2}{L_1} I_2 \cos \delta = \frac{c_2 w_2 N_2}{c_1 w_1 N_1} I_2.$$

A l'aide de ces relations, les conditions de puissance du moteur sont ainsi définies :

La puissance à dépenser pour vaincre la f.

contre-é. m. du système inducteur est

$$c_1 p_1 w_1 N_1 \times \text{courant utile} = c_1 p_1 w_1 N_1 I_1 \sin\left(\psi - \delta\right),$$

c'est-à-dire, d'après ce qui précède,

$$= c_2 p_1 w_2 N_2 I_2.$$

Cette dernière expression représente alors la puissance totale absorbée par l'armature.

La chaleur développée dans l'armature est

$$c_2 E_2 I_2 = c_2 \left(p_1 - p_2\right) w_2 N_2 I_2.$$

En la retranchant de la puissance fournie, il reste comme effet mécanique utile :

$$c_2 p_2 w_2 N_2 I_2.$$

En résumé, nous avons :

1. Énergie fournie :

$$W'_1 = c_1 E_1 I_1 \cos \Phi.$$

2. Perte calorifique dans le système inducteur :

$$V_1 = c_1 I_1^2 r_1.$$

3. Puissance transmise à l'armature :

$$W'_1 = c_1 \left(E_1 I_1 \cos \Phi - I_1^2 r_1\right) = c_2 p_1 w_2 N_2 I_2.$$

4. Perte calorifique dans l'induit :

$$V_2 = c I_2 I_2^2 r_2.$$

5. Puissance utile :

$$W_2 = c_2 p_2 w_2 N_2 I_2.$$

Par une transformation simple de ces formules, nous obtenons

$$\frac{W'_1}{W_1} = \gamma' = \operatorname{tg}\left(\psi - \delta\right) \operatorname{tg} \Phi,$$

$$\frac{W_2}{W'_1} = \gamma'' = \frac{p_2}{p_1},$$

et, par conséquent, pour le rendement du moteur :

$$\frac{W_2}{W_1} = \gamma'\gamma'' = \gamma = \frac{p_2}{p_1} \operatorname{tg}\left(\psi - \delta\right) \operatorname{tg} \Phi. \qquad (4)$$

Le rapport de la perte calorifique dans l'induit à la puissance fournie à ce dernier, est égal au glissement du moteur :

$$\frac{p_1 - p_2}{p_1}.$$

Cette relation est d'autant plus importante qu'elle s'applique à tout moteur polyphasé avec hystérésis et perméabilité variable. Pour le démontrer, nous considérons la puissance utile du moteur comme le produit de la vitesse angulaire N_2 par le couple z (réduit au rayon $= 1$). Cette dernière grandeur se détermine ainsi :

Supposons fixe le champ à vitesse angulaire p_1, et mobile avec la vitesse $(p_1 - p_2)$ l'induit. Dans ces conditions, rien n'est changé aux phénomènes électriques et magnétiques. La chaleur V_2 produite dans l'induit, due aux courants ou à l'hystérésis, est dans tous les cas égale à la puissance mécanique capable de faire tourner l'induit contre le couple z avec la vitesse $(p_1 - p_2)$; c'est-à-dire

$$V_2 = \left(p_1 - p_2\right) z.$$

Or,

$$W_2 = p_2 z;$$

donc

$$\frac{V_2}{W_2} = \frac{p_1 - p_2}{p_2},$$

comme plus haut.

Par là, on a démontré en même temps que pour un moteur polyphasé quelconque, le rendement doit toujours être inférieur à $\frac{p_2}{p_1}$.

En désignant par H la perte due à l'hystérésis, nous avons comme formule générale :

$$\gamma = \frac{p_2}{p_1} = \frac{W_1 - I_1^2 r_1 - H}{W_1}. \qquad (5)$$

Pour la détermination expérimentale du rendement, il suffit donc d'un wattmètre et d'un ampèremètre; car connaissant les dimensions et les propriétés du fer, nous pouvons évaluer H, qu'il suffit de connaître approximativement.

Nous avions pour la puissance utile :

$$W_2 = c_2 p_2 w_2 N_2 I_2 = p_2 \frac{c_1 w_1^2}{L_1} N_1^2 \frac{\sin 2\delta}{2\sigma} \left(1 - \sigma\right);$$

donc pour le couple

$$z = \frac{c_1 w_1^2}{L_1} N_1^2 \frac{\sin 2\delta}{2\sigma} \left(1 - \sigma\right). \qquad (6)$$

Pour de bons moteurs avec une différence

de potentiel constante aux bornes, nous pouvons aussi considérer N_1 comme constante. Le maximum z_m du couple se produit alors pour $\delta = 45°$, et pour une autre charge nous aurons

$$\frac{z}{z_m} = \sin 2\delta. \qquad (6a)$$

Il reste à considérer les différentes expressions par rapport à la vitesse p_2.

Sous faible charge, p_2 est peu inférieur à p_1, donc ψ et δ sont petits. I_1 coïnciderait presque avec N_1 et N_2. En réalité, la différence est beaucoup plus grande, à cause de l'hystérésis.

Φ est approximativement égal à $\frac{\pi}{2}$.

Quand la charge augmente, p_2 diminue, et ψ et δ augmentent dans le rapport

$$\frac{\operatorname{tg}\delta}{\operatorname{tg}\psi} = \sigma;$$

c'est-à-dire que δ croît plus vite que ψ. L'angle Φ décroît d'abord, et atteint un minimum aux environs de la charge normale, quoiqu'il ne puisse jamais devenir aussi petit que dans un transformateur, où, à partir d'une certaine charge, cet angle est presque nul. Un moteur polyphasé produit toujours un décalage appréciable entre le courant et la force électromotrice, et cela provient de la grandeur relativement considérable de l'angle δ.

Nous allons maintenant étudier de plus près ces expressions sur des exemples. A cet effet, nous examinerons le moteur aux régimes suivants :

1. Marche à vide.
2. Le rendement γ est maximum.
3. Le rendement γ' des bobines inductrices est maximum (voir équation 4).
4. Le décalage entre E_1 et I_1 est minimum.
5. La puissance utile W_2 est maxima.
6. Le couple z est maximum.
7. Démarrage.

Pour ces sept régimes nous obtenons, par un calcul qu'il est inutile de reproduire ici, les valeurs suivantes de tg Ψ; mais il faut observer que ce sont les valeurs théoriques ne tenant pas compte des pertes dans le fer :

1. A vide :

$$\operatorname{tg}\Psi_1 = 0.$$

2. γ = maximum :

$$\operatorname{tg}\Psi_2 = -\frac{1}{\mu} + \sqrt{\frac{1}{\mu^2} + \frac{p_1 L_2}{r_2}\frac{1}{\mu}},$$

où

$$\mu = p_1\left\{\frac{L_2}{r_2} + \frac{L_1}{r_1}(1-\sigma)\right\}.$$

3. γ' = maximum :

$$\operatorname{tg}\Psi_3 = 1.$$

4. cos Φ = maximum :

$$\operatorname{tg}\Psi_4 = \frac{1}{\sigma}\frac{r_1}{p_1 L_1} + \sqrt{\frac{1}{\sigma^2}\left(\frac{r_1}{p_1 L_1}\right)^2 + \frac{1}{\sigma}}.$$

5. W_2 = maximum :

$$\operatorname{tg}\Psi_5 = -\frac{1}{\sigma^2}\frac{r_2}{p_1 L_2} + \sqrt{\frac{1}{\sigma^4}\left(\frac{r_2}{p_1 L_2}\right)^2 + \frac{1}{\sigma^2}}.$$

6. z = maximum :

$$\operatorname{tg}\Psi_6 = \frac{1}{\sigma}.$$

7. Démarrage :

$$\operatorname{tg}\Psi_7 = \frac{p_1 L_2}{r_2}.$$

Pour tous ces cas, on a naturellement d'après la formule (1) :

$$\operatorname{tg}\Psi = \frac{p_1 - p_2}{r_2} L_2.$$

Ces sept équations présentent un accroissement constant de tg. Ψ depuis o jusqu'à $\frac{p_1 L_2}{r_2}$. En réalité, les valeurs de tg Ψ dans les cas (1) et (2) sont autres.

A vide, tg. $\Psi > 0$, par suite du frottement aux coussinets. De plus, d'après la formule (2) tg Ψ_2 doit toujours être inférieure à 1, ce qui correspond à une faible charge. Ainsi, l'influence des frottements intérieurs et extérieurs est relativement grande et fait diminuer la valeur de γ assez pour faire coïncider presque (2) avec (4). Les autres formules varient peu, de sorte que pour un moteur utile nous trouvons en général que le régime (4) correspond à la charge normale, et que la charge maxima (5) ne doit pas trop différer de celle-ci, parce

qu'alors le rendement baisserait trop. Finalement, il est désirable, mais non toujours nécessaire, que le couple au démarrage ne soit pas trop petit.

Ce dernier point se démontre aisément. D'après la formule (6_a).

$$\frac{\zeta_\gamma}{\zeta_m} = \sin 2\delta_7,$$

et d'après la formule (2).

$$\operatorname{tg} \delta_7 = \sigma \operatorname{tg} \Psi = \frac{6 p_1 L_2}{r_2}.$$

Si nous supposons maintenant que σ soit limité entre 0,2 et 0,4, il est aisé de calculer quelle valeur doit avoir $\frac{p_1 L_2}{r_2}$ pour que le couple de démarrage soit une certaine fraction du courant maximum. Si, par exemple, ces deux couples doivent être égaux il faut que

$$\operatorname{tg} \delta_7 = 1 \quad \text{et} \quad \frac{p_1 L_2}{r_2} = \frac{1}{\sigma} \left(= 5 \text{ à } 2.5\right).$$

Il est maintenant aisé de montrer qu'une considération de ce genre conduirait à un moteur très peu pratique, puisque nous savons que le rendement γ est toujours inférieur à $\frac{p_2}{p_1}$. Si nous admettons que le régime normal coïncide avec (4), c'est-à-dire cos Φ = maximum, et qu'en général

$$\frac{p_2}{p_1} = 1 - \frac{\operatorname{tg} \Psi}{\operatorname{tg} \Psi_7},$$

alors nous avons pour le régime normal

$$\frac{p_2}{p_1} = 1 - \frac{\operatorname{tg} \Psi_4}{\operatorname{tg} \Psi_7}.$$

Or, (4) montre qu'approximativement

$$\operatorname{tg} \Psi_4 = \frac{1}{\sqrt{\sigma}}.$$

Nous aurions donc en régime normal

$$\gamma < 1 - \sqrt{\sigma} \quad \text{ou} \quad < 0{,}55 \quad \text{à} \quad 0{,}37.$$

Si l'on veut avoir un bon rendement, le couple au démarrage ne doit pas être trop grand. On voit donc qu'en somme les propriétés du moteur sont déterminées par les valeurs de σ et de $\frac{p_1 L_2}{r_2}$, ce que montrent encore plus nettement les courbes suivantes (fig. 3 et 4). Ces courbes sont construites sur les données ci-dessous :

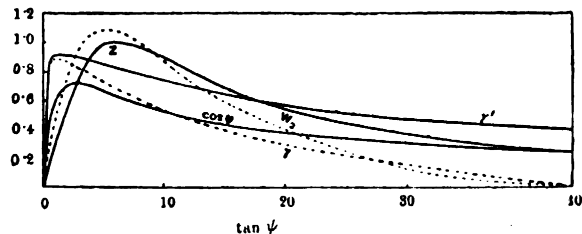


Fig. 3.

Fig. 3 :

$$\sigma = 0{,}17 \qquad \frac{p_1 L_2}{r_2} = 43{,}6 \qquad \frac{p_1 L_1}{r_1} = 30{,}8.$$

Fig. 4 :

$$\sigma = 0{,}24 \qquad \frac{p_1 L_2}{r_2} = 30{,}8 \qquad \frac{p_1 L_1}{r_1} = 30{,}8.$$

Pour la construction de ces courbes on est parti d'une valeur arbitraire de

$$\operatorname{tg} \Psi = \frac{(p_1 - p_2) L_2}{r_2},$$

et on a calculé successivement

$$\gamma', \quad \frac{p_2}{p_1}, \quad \gamma, \quad \operatorname{tg} \delta, \quad \zeta, \quad \operatorname{cotg} \Phi \quad \text{et} \quad \frac{E}{E_1}.$$

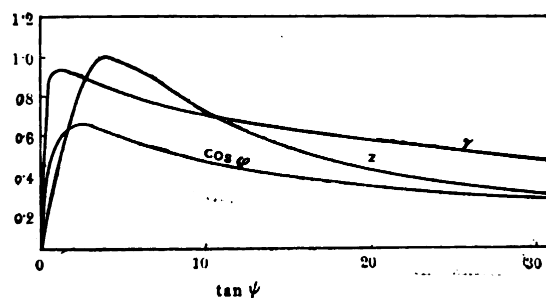


Fig. 4.

Ces valeurs sont données dans le tableau ci-dessous, pour les régimes 2, 4, 5 et 7.

Dans les diagrammes, on distingue deux sortes de courbes. Les premières, en trait plein (γ', ζ et cos Φ) ne sont pas affectées par la position de l'ordonnée du démarrage (dernière ordonnée à droite); les autres (γ, W_a et

RÉGIMES	2 (γ = max.)		4 (cos Φ = max.)		5 (W_2 = max.)		7 (démarrage)	
	fig. 3	fig. 4	fig. 3	fig. 4	fig. 3	fig. 4	fig. 3	fig. 4.
$\frac{r_2}{r_1}$	0,98	0,98	0,94	0,93	0,88	0,88	—	—
tg Ψ. . .	0,675	0,76	2,62	2,18	5,17	3,68	43,6	30,8
tg δ . . .	0,115	0,18	0,445	0,52	0,877	0,87	7,41	7,41
γ'	0,92	0,91	0,90	0,90	0,85	0,86	—	—
γ	0,91	0,89	0,87	0,84	0,73	0,75	—	—
cos Φ . .	0,49	0,49	0,75	0,65	0,68	0,62	0,25	0,30
sin 2δ . .	0,22	0,35	0,74	0,82	0,99	0,99	0,25	0,25
$\frac{E}{E_1}$ . . .	0,99	0,99	0,95	0,96	0,93	0,95	0,98	0,96

W_1), en pointillé, dépendent de cette position. Si l'ordonnée de démarrage est déplacée vers la gauche, le couple initial est plus grand, mais le rendement à charge normale est plus petit. Pour les deux diagrammes, on a choisi un couple de démarrage égal au quart du couple maximum ; c'est encore trop pour l'obtention d'un bon rendement. Toutefois, à cause de l'hystérésis, le couple au démarrage est en réalité un peu plus grand.

La figure 5 reproduit les courbes de la figure 3 à une plus grande échelle, et embrasse

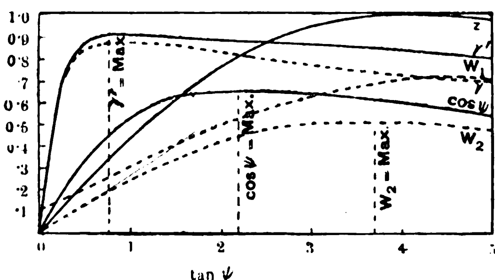


Fig. 5.

la partie dont on a à s'occuper dans la pratique.

L'hystérésis modifie les courbes, surtout au début ; γ est un peu abaissé et atteint son maximum un peu plus tard que la théorie ne l'indique. Les valeurs de cos Φ, au contraire, sont, surtout au début, un peu plus grandes. La charge maxima coïncide presque avec le couple maximum.

Les tableaux expliquent l'influence σ. Il est exact que, avec l'augmentation des fuites magnétiques, cos Φ diminue par rapport au rendement, tandis que le couple en charge normale croît. C'est ce qu'on voit dans les diagrammes par le rapprochement des charges normale et maxima.

Nous allons maintenant indiquer une méthode approchée pour prédéterminer la forme des courbes. Nous ne considérons que les régimes normal, maximum et de démarrage.

Comme première approximation, nous avons :

Pour la charge normale,

$$\text{tg } \Psi = \frac{1}{\sqrt{\sigma}}.$$

Pour la charge maxima,

$$\text{tg } \Psi = \frac{1}{\sigma}.$$

Pour le démarrage,

$$\text{tg } \Psi = \frac{r_1 L_2}{r_2}.$$

Nous obtenons pour la charge normale

$$\gamma' \text{ cotg } \Phi = \frac{1 - \sigma}{2\sqrt{\sigma}}$$

et

$$\frac{\zeta_{norm.}}{\zeta_{max.}} = \frac{2\sqrt{\sigma}}{1 + \sigma}.$$

Le tableau ci-dessous réunit ces valeurs :

σ =	0,1	0,2	0,25	0,3	0,35	0,4
$\frac{\zeta_{norm.}}{\zeta_{max.}}$ =	0,56	0,75	0,80	0,84	0,88	0,90
γ'cotg Φ =	1,42	0,895	0,75	0,64	0,55	0,475

C'est-à-dire, pour $\gamma' = 0{,}9$ et $\gamma' = 0{,}8$, respectivement :

cotg Φ =	0,85	0,71	0,64	0,58	0,52	0,47
cotg Φ =	0,87	0,75	0,70	0,62	0,57	0,51

Puisque le rendement est toujours inférieur à γ', nous voyons qu'un moteur avec un facteur de dispersion $\sigma > 0,1$ fonctionne déjà dans de mauvaises conditions parce que Φ est trop grand ou γ' trop petit. (Sous ce rapport les moteurs monophasés sont plus avantageux.)

A l'aide de ces formules nous calculerons maintenant un moteur polyphasé pouvant produire normalement 10 000 watts avec une f. é. m. de 200 volts efficaces et 50 périodes par seconde. L'expérience montre que dans les machines de ce type, on peut prévoir un rendement

$$\gamma = 0,83,$$

et un coefficient de dispersion

$$\sigma = 0,2.$$

La puissance absorbée est donc

$$W_1 = \frac{W_2}{\gamma} = 12000 \text{ watts.}$$

Pour un moteur bipolaire, la vitesse angulaire sera

$$p_1 = 2\pi\, 50 = 314.$$

En réalité, nous choisirions un moteur à six pôles, par exemple; mais le mode de calcul resterait le même. Nous adoptons maintenant

$$\gamma' = 0,9,$$

en admettant 2 p. 100 pour l'hystérésis et le frottement et 5 p. 100 de glissement, alors :

$$\frac{p_2}{p_1} = 0,95.$$

Le tableau précédent montre que pour $\gamma' = 0,9$ et $\sigma = 0,2$,

$$\cos\Phi = 0,71.$$

Nous obtenons le courant

$$I_1 = \frac{\frac{1}{3} W_1}{E_1 \cos\Phi} = 28,2 \text{ ampères efficaces.}$$

et la résistance

$$r_1 = \frac{E_1}{I_1} \cos\Phi \left(1 - \gamma'\right) = 0,505 \text{ ohms.}$$

Or, nous avons

$$\gamma' = \frac{1}{1 + \left(\frac{r_1}{p_1 L_1}\right) \frac{1 + \operatorname{tg}^2 \Psi}{(1-\sigma)\operatorname{tg}\Psi}};$$

il en résulte, dans notre exemple, où nous avons

$$\operatorname{tg}\Psi = \frac{1}{\sqrt{\sigma}},$$

$$\frac{p_1 L_1}{r_1} = \frac{1+\sigma}{(1-\sigma)\sqrt{\sigma}} \frac{\gamma'}{1-\gamma'} = 30,3.$$

$$L_1 = 0,048 \times 10^9.$$

La figure 1 nous donne, d'autre part,

$$w_1 N_1 = L_1 I_1 \frac{\cos\Psi}{\cos\delta},$$

Ou bien, comme

$$\operatorname{tg}\Psi = \frac{1}{\sqrt{\sigma}} \text{ et } \operatorname{tg}\delta = \sqrt{\sigma},$$

$$w_1 N_1 = L_1 I_1 \sqrt{\sigma} = 0,615 \times 10^8.$$

Nous aurions, naturellement, pu calculer cette valeur directement par la formule

$$p_1 w_1 N_1 = E_1 \frac{\sin\Phi}{\cos(\Psi - \delta)}.$$

Nous avons une vérification du calcul dans l'expression

$$p_1 w_1 N_1 = E,$$

qui ne doit différer de E_1 que de quelques pour cent. En effet,

$$p_1 w_1 N_1 = 193.$$

Ces dernières formules n'ont qu'une valeur pratique limitée, parce qu'il peut être impossible de déterminer les dimensions de la carcasse en fer d'après les valeurs de L_1, r et $w_1 N_1$, étant donnée une certaine induction permise (de 4 000 à 8 000). Cela est encore plus vrai pour l'armature. Mais nous pouvons toujours obtenir un renseignement sur le rapport $\frac{L_1}{L_2}$.

De

$$\operatorname{tg}\Psi = \frac{(p_1 - p_2) L_2}{r_2},$$

on tire

$$\frac{p_1 L_2}{r_2} = \frac{1}{\sqrt{\sigma}} \frac{p_1}{p_1 - p_2} = 44,7.$$

Cette valeur n'est qu'approximative; car si le glissement varie seulement de 1 p. 100, la valeur en question varie déjà de 20 p. 100.

Nous obtenons un meilleur résultat en considérant le couple de démarrage, Prenons-le égal au cinquième du couple maximum, ou (comme le couple normal est 0,75 du maximum) égal à 0,27 du couple normal.

Au démarrage, nous avons alors

$$\sin 2\delta = 0{,}2,$$
$$2\delta = 168°,$$
$$\delta = 84°.$$
$$\frac{p_1 L_2}{r_2} = \operatorname{tg} \Psi = \frac{1}{\sigma} \operatorname{tg} \delta = 47{,}6.$$

Comme cette valeur ne diffère que de 6 p. 100 de celle précédemment trouvée, la concordance est suffisante. Si la différence avait été plus sérieuse, nous aurions été obligés de recommencer le calcul du moteur avec une nouvelle valeur corrigée du glissement.

A titre de contrôle, on peut maintenant déterminer les grandeurs pour la charge maxima du moteur. Les résultats obtenus jusqu'à présent sont :

$$W_1 \text{ max.} = 16\,500 \text{ watts},$$
$$W_2 \text{ max.} = 12\,000 \text{ watts},$$
$$I_1 = 43{,}7 \text{ ampères efficaces},$$
$$\gamma' = 0{,}825 \qquad \gamma = 0{,}725,$$
$$\frac{p_2}{p_1} = 0{,}88 \qquad \cos \Phi = 0{,}63.$$

En outre, nous obtenons au démarrage.

$$I_1 = 63{,}5 \text{ amp.} \quad \text{et} \quad \cos \Phi = 0{,}25.$$

La puissance absorbée au démarrage est donc

$$W_1 = 9\,500 \text{ watts}.$$

Par cet exemple pratique, on peut se rendre compte de l'utilité des formules développées dans la première partie de ce travail.

A.-H.

REVUE DES SOCIÉTÉS SAVANTES ET DES PUBLICATIONS SCIENTIFIQUES

Sur les potentiels explosifs statique et dynamique, par R. Swyngedauw [1].

« On peut faire éclater une étincelle entre deux conducteurs par deux moyens principaux : 1° par une méthode statique en les unissants aux pôles d'une machine électrostatique ; 2° par une méthode dynamique en les mettant en communication avec un fil traversé par une décharge.

« Dans le premier cas, à raison du faible débit de la machine, le champ électrostatique créé entre les deux conducteurs varie lentement ; l'électricité distribuée sur chacun d'eux peut être considérée comme étant en équilibre à chaque instant. Dans le deuxième cas, le champ électrostatique varie rapidement, et il n'est pas démontré qu'à chaque instant la distribution électrique soit une distribution d'équilibre.

« Dès lors, il est permis de se demander si la proposition suivante est exacte :

« Un excitateur placé dans des conditions physiques déterminées se décharge pour le même potientel suivant qu'on le charge par la méthode statique ou la méthode dynamique ; en d'autres termes, les potentiels explosifs statique et dynamique sont égaux pour un même excitateur.

« Cette proposition est admise par un grand nombre de physiciens ; elle a été mise en doute en ces derniers temps par M. Jaumann [1].

« L'une des conséquences les plus directes de cette proposition est la suivante : l'égalité des potentiels explosifs statiques de deux excitateurs entraîne leur égalité dynamique quelles que soient les différences de forme et de dimensions des excitateurs employés.

« On peut vérifier cette conséquence en opérant de la façon suivante : on dispose d'un condensateur isolé d'armatures C_1C_2, de trois excitateurs désignés par leurs pôles, un excitateur principal I_1I_2 et deux excitateurs dérivés E_1E_2, N_1N_2 ; d'une bobine désignée par ses extrémités B_1B_2, de deux tubes en U isolés, renfermant du mercure et désignés par leurs branches $t't'_1$, $t_2t'_2$. Les deux armatures du condensateur sont réunies aux pôles d'une machine de Holtz ; on fait communiquer par des fils de cuivre de 1 m. de long au maximum : 1° C_1I_1 ; 2° $I_2E_1N_1t_1$;

(1) *Comptes rendus*, t. CXXI, p. 118.

(1) *Einfluss rascher Potentialänderungen auf den Entladungsvorgang* (*Sitz. Ber. der Wiener Akademie* ; juin-juillet 1888, p. 705).

3° $C_2E_2N_2t_2$; on plonge les extrémités B_1 et B_2 de la bobine dans les branches t'_1 et t'_2 des tubes en U.

« Les fils de cuivre compris entre N_1 et E_1, entre N_2 et E_2 ont une résistance et une self-induction très faible par rapport à la résistance et à la self-induction de la bobine. Le milieu du fil N_2E_2 est en communication constante avec le sol. Afin de se rapprocher le plus possible de la décharge théorique d'un condensateur dans un fil, les excitateurs se réduisent à

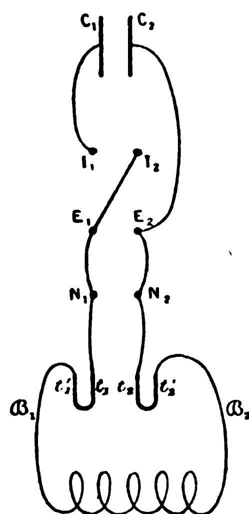


Fig. 1.

des boules ou à des boucles fixées sur de l'ébonite.

« Avec la disposition (¹) que l'on vient de décrire, si une étincelle éclate en I_1I_2, le condensateur se décharge à travers le circuit; on peut disposer des distances explosives de E_1E_2 et N_1N_2 de façon que, pour chaque étincelle qui éclate en I_1I_2, on observe une étincelle en N_1N_2, ou en E_1E_2, ou aux deux simultanément : on charge les excitateurs par la méthode dynamique.

« Si l'on jette un pont entre les pôles I_1I_2, si l'on enlève l'extrémité B_1 de la bobine de la branche t'_1 du tube U, et si l'on tourne la machine de Holz, on charge les excitateurs N_1N_2 et E_1E_2, par la méthode statique.

« L'expérience donne les résultats suivants : si l'étincelle éclate en E_1E_2 quand on charge les excitateurs dérivés par la méthode statique, elle éclate en E_1E_2 quand on les charge par la méthode dynamique.

« Si l'étincelle éclate en N_1N_2 quand on charge les excitateurs dérivés par la méthode statique, elle éclate en N_1N_2 quand on les charge par la méthode dynamique (¹).

« Les excitateurs dérivés diffèrent beaucoup de forme et de dimensions ; N_1N_2 est formé de deux boucles de fil de laiton ou de deux surfaces sphériques de 1 mm. ou 3 mm. de diamètre ; E_1E_2 est constitué par des sphères de 1 cm., 1,5 cm. ou 2 cm. de diamètre.

« L'interprétation des expériences est facile si l'on remarque que, dans les conditions de l'expérience et avant l'étincelle dérivée en N_1N_2 ou en E_1E_2, le mode de charge dynamique des excitateurs dérivés satisfait aux deux conditions suivantes qui sont réalisées dans la charge statique :

« 1° La différence de potentiel entre les pôles de l'excitateur N_1N_2 est égale à chaque instant à la différence de potentiel entre les pôles de l'excitateur E_1E_2.

2° La différence de potentiel entre les pôles des excitateurs dérivés est une fonction croissante du temps (²).

« Les résultats expérimentaux démontrent donc la proposition citée plus haut, que l'on peut énoncer d'une façon plus explicite sous la forme suivante :

« *Si les potentiels explosifs de deux excitateurs différents sont égaux dans la charge statique, ils restent égaux dans la charge dynamique.*

« Ce fait, que la proposition précédente est vraie, quelle que soit la différence de forme des excitateurs, rend probable le principe généra-

(¹) Le condensateur est une bouteille de Leyde de 0^micro.F.^,005 de capacité. La bobine a une résistance de 1 ohm et une self-induction de 0^quadr.^,0004. Le potentiel explosif de l'excitateur varie entre 30 et 80 unités électrostatiques C. G. S.

(¹) Il arrive rarement que l'étincelle éclate simultanément aux deux excitateurs dérivés.

(²) *Comptes rendus* du 16 juillet 1894.

lement admis que le potentiel explosif dynamique d'un excitateur est égal à son potentiel explosif statique.

« Pour observer les résultats précédents, il faut opérer avec des précautions spéciales : on fait éclater les étincelles toutes les minutes environ pour éviter l'action perturbatrice d'une étincelle sur la suivante; on opère avec des excitateurs dérivés polis fréquemment à la toile d'émeri; au moyen d'écrans on évite avec le plus grand soin l'action de la lumière ultraviolette des étincelles des excitateurs voisins et des effluves qui peuvent s'échapper des fils pendant la décharge.

« Sans ces précautions et surtout sans la dernière, la loi précédente se trouve en défaut :

« *La lumière ultra-violette abaisse les potentiels explosifs dynamiques dans des proportions beaucoup plus grandes que les potentiels explosifs statiques;* c'est un point sur lequel je reviendrai prochainement. »

Recherches sur la décharge électrique de la Torpille ; par d'Arsonval (¹).

« J'ai l'honneur de communiquer à l'Académie les principaux résultats des recherches que j'ai entreprises au laboratoire de Zoologie et Physiologie maritimes de Concarneau sur la décharge électrique de la Torpille (²).

« Je ne ferai pas l'historique de la question ; je me bornerai à renvoyer le lecteur au Mémoire le plus original et le plus important publié sur le sujet par mon éminent maître et ami M. Marey (³). Je me suis proposé surtout d'effectuer des mesures, au point de vue électrique, ce côté de la question n'ayant pas été abordé, et d'inscrire sous forme de courbe continue, l'onde électrique caractérisant ce phénomène. Cette analyse a une importance générale très grande en raison du lien intime qui unit la décharge électrique à la contraction musculaire. Le muscle et l'organe électrique obéissent aux mêmes lois générales. L'acte électrique et l'acte musculaire s'éclairent l'un par l'autre. Ainsi que je l'ai dit depuis nombre d'années (¹), la contraction musculaire et la décharge de l'organe électrique me semblent reconnaître la même cause : les variations de la tension superficielle que le fonctionnement de l'électromètre capillaire de notre confrère Lippmann met bien en évidence. La décharge de l'organe électrique n'est que l'exagération de l'oscillation électrique que l'on constate dans le muscle lors de sa contraction. J'insiste sur ce fait parce qu'il n'a pas été compris lorsque je l'ai publié, en 1878 pour la première fois, les physiologistes étant, pour la plupart, à cette époque, assez ignorants des lois qui régissent les phénomènes électriques.

« Pour inscrire les phases de la décharge de la Torpille et la mesurer, j'ai eu recours à quelques dispositifs spéciaux, que je décrirai sommairement tout d'abord.

« I. Le premier appareil inscripteur, que j'appelle *galvanographe*, dérive, comme principe, du galvanomètre à circuit mobile, que j'ai imaginé en 1880, en collaboration avec notre confrère Marcel Deprez. Il se compose essentiellement (²) d'une bobine très légère en aluminium sur laquelle est enroulé le circuit traversé par la décharge. Cette bobine est fixée au centre d'une membrane en caoutchouc, fortement tendue sur un tambour à air de Marey. Ce premier tambour est relié par un tube de caoutchouc à un second tambour amplificateur plus petit, portant un court levier inscripteur se déplaçant sur un cylindre enfumé. La bobine mobile plonge dans un champ magnétique annulaire de grande intensité. En vertu d'une action bien connue.

(¹) *Comptes rendus*, t. CXXI p. 145.

(²) Ce laboratoire, fondé par Coste, vient d'être récemment rendu au Collège de France. Je suis heureux de remercier publiquement M. Fabre-Domergue, sous-directeur, et Biétrix, préparateur du laboratoire, du concours qu'ils m'ont prêté pendant ce travail.

(³) Voir Marey, *Travaux du laboratoire*, année 1877 ; Masson, éditeur.

(¹) Voir d'Arsonval, *Gazette des Hôpitaux*, 21 mai 1894, et *Comptes rendus de la Société de Biologie*, 4 juillet 1885.

(²) Voir d'Arsonval. *Société internationale des Electriciens*, avril 1892 et *Société française d'Electrothérapie ;* 1891.

cette bobine se déplacera dans le champ, et son déplacement mesurera à chaque instant le sens et les variations du courant qui la traverse. Cet ensemble constitue un galvanomètre très sensible, inscrivant à distance ses indications par le mécanisme bien connu des tambours à air de Marey, employés en physiologie. La bobine en aluminium et les membranes en caoutchouc constituent un système amortisseur des plus énergiques qui rend l'instrument très apériodique. On peut encore augmenter l'apériodicité en faisant mouvoir la bobine dans du pétrole, mais cette précaution est inutile dans le cas présent, car les mouvements de la bobine ont une très faible amplitude, la multiplication se faisant par le jeu naturel des tambours à air qui sont, comme je l'ai dit, de diamètres inégaux.

J'ai employé également un deuxième appareil inscripteur, constitué par un fil d'argent d'environ un dixième de millimètre de diamètre et de 40 cm. à 50 cm. de long. Ce fil est tendu horizontalement entre deux supports rigides. En son milieu vient s'accrocher un deuxième fil tendu par un ressort de caoutchouc et portant une pointe très fine se déplaçant sur le cylindre enregistreur. Quand le fil d'argent est traversé par un courant, il s'échauffe et l'allongement qui en résulte est considérablement amplifié par la flèche qu'il forme. La pointe laisse une trace sur le cylindre. Les indications de cet appareil sont très rapides en raison de son peu de masse. Elles le deviennent bien plus encore si le fil d'argent, au lieu d'être exposé à l'air, est noyé dans du pétrole. Comme je ne demandais à cet appareil que la mesure de l'intensité efficace du courant dans le cas actuel, et non l'indication des phases de la décharge, je n'ai pas employé le bain de pétrole qui diminue beaucoup la sensibilité. C'est un dispositif analogue qui me sert depuis assez longtemps à mesurer l'intensité des courants alternatifs à haute ou basse fréquence. On tare naturellement l'appareil en le faisant traverser par un courant continu d'intensité connue. Inutile d'ajouter que, si le courant à mesurer est très intense, on n'en dérive qu'une partie dans le fil d'argent. C'est ce qui a lieu pour la décharge de la Torpille, comme je le dirai tout à l'heure.

II. Pour procéder à une mesure, la Torpille est placée sur un plateau à fond métallique, dans lequel on laisse une couche d'eau de mer de 1 cm. d'épaisseur pour que l'animal puisse respirer pendant l'expérience. Dans une feuille de papier d'étain, on taille deux électrodes ayant la forme des organes électriques et l'on applique ces deux feuilles sur la surface dorsale de ces organes, en les réunissant entre elles par une bande de papier d'étain de 5 cm de largeur et assez épaisse.

Le plateau métallique inférieur constituera l'électrode négative, et les lames d'étain l'électrode positive de cet électromoteur vivant. Ce sont ces électrodes qu'on réunit aux différents appareils destinés à mesurer ou à rendre visible la décharge des organes.

Pour provoquer la décharge, il suffit de pincer même légèrement, avec une pince à dissection, le bord des ailes du poisson. Dans ces conditions, la Torpille ne donne, en général, qu'une décharge; mais, si le pincement est violent, les décharges sont multiples et gênantes pour l'enregistrement.

III. La courbe inscrite par le galvanographe montre que la décharge n'est pas continue, ainsi que l'a signalé M. Marey; elle se compose de 6 à 10 décharges successives qui s'additionnent au début en se suivant à environ $\frac{1}{100}$ de seconde. L'intensité atteint son maximum, en général, après la troisième décharge partielle et va ensuite en diminuant graduellement jusqu'à zéro. Le courant va toujours dans le même sens, de façon que le dos de l'animal est toujours positif et le ventre toujours négatif. La courbe tracée a une allure absolument semblable à celle de la contraction musculaire, l'intensité augmentant rapidement pour atteindre son maximum et retomber ensuite à zéro plus lentement.

La durée moyenne d'une décharge oscille entre $\frac{1}{10}$ et $\frac{5}{100}$ de seconde à la température de 19° C. où j'ai opéré.

Sur des Torpilles de 25 cm. à 35 cm. de

diamètre, conservées depuis huit jours dans les bassins du laboratoire, j'ai obtenu les nombres suivants : la force électromotrice a oscillé entre 8 et 17 volts et l'intensité entre 1 et 7 ampères.

En possession de ces nombres, j'ai pensé qu'il était possible de traduire aux yeux du public l'énergie de la décharge sous une forme plus palpable. J'ai employé pour cela le dispositif suivant qui réussit très bien. Je prends une lampe à incandescence consommant 4 volts et 1 ampère et je la réunis à un des organes électriques. En pinçant l'animal, cette lampe s'allume et se trouve portée au blanc éblouissant pendant un instant. Il est prudent de mettre la lampe en rapport avec un seul des organes et de pincer légèrement l'animal, sans quoi la lampe est infailliblement brûlée, comme cela m'est arrivé la première fois que j'ai fait l'expérience. J'ai pu mettre trois de ces lampes en tension et les allumer au blanc ; j'ai réussi également en les plaçant en quantité. N'en ayant pas un plus grand nombre sous la main, j'ai dû borner là mes expériences qui démontrent d'une façon suffisante l'exactitude des nombres fournis par mes appareils inscripteurs. Avec un ampèremètre Deprez-Carpentier, l'aiguille a été chassée plusieurs fois au delà de la graduation qui n'allait qu'à 5 ampères.

« En lançant la décharge dans une petite bobine de Ruhmkorff, j'ai également fait briller d'un vif éclat deux tubes de Geissler. Ces expériences, faciles à répéter, ont l'avantage de montrer à un nombreux auditoire à la fois la nature électrique et l'intensité de la décharge de la Torpille.

« IV. Les deux organes fonctionnent synergiquement et avec la même intensité, comme on s'en assure facilement en plaçant une lampe électrique sur chaque organe. Les deux lampes s'allument au même instant et présentent le même éclat, bien qu'ayant des circuits séparés.

« V. L'organe s'épuise vite; après 4 ou 5 décharges répétées coup sur coup, la lampe s'allume de plus en plus faiblement. Si l'on n'a utilisé le courant que d'un seul organe et qu'on porte ensuite la lampe sur le second organe qui est resté à circuit ouvert, on obtient un courant très fort allumant vivement la lampe; ce fait prouve que l'incitation nerveuse volontaire ne suffit pas pour épuiser l'organe, et que c'est bien dans l'organe et non dans le système nerveux que se produit l'électricité. Cinq à dix minutes de repos rendent à la décharge son énergie première, si l'on n'a exercé que de légers pincements.

« VI. En enfonçant deux aiguilles thermo-électriques dans les organes, j'ai constaté que, pendant la décharge, l'organe s'échauffe jusqu'à $\frac{2}{10}$ et $\frac{3}{10}$ de degré, mais seulement s'il est fermé en court circuit sur lui-même. A circuit ouvert, je n'ai constaté aucun échauffement malgré des pincements répétés.

« VII. En coupant les nerfs électriques de façon à supprimer l'action de la volonté et en excitant le bout périphérique de ces nerfs par un choc d'induction, le galvanographe inscrit une décharge ou plutôt un flux unique d'électricité, comme l'avait constaté déjà M. Marey. La courbe de cette décharge est tout à fait semblable à celle de la secousse musculaire. La décharge ainsi provoquée est beaucoup plus faible que la décharge volontaire. Son intensité croît avec l'intensité de l'excitation jusqu'à une certaine limite comme pour le muscle. Je n'ai pas poussé plus loin cette dernière analyse, M. Raphaël Dubois m'ayant exprimé le désir d'étudier plus particulièrement ce point spécial. Les nerfs électriques m'ont paru être plus excitables par les courants de la pile que par les courants d'induction; il leur faudrait donc une caractéristique d'excitation plus étalée que pour le nerf moteur musculaire.

« VIII. En plaçant sur l'organe un stéthoscope à membrane pendant la décharge, j'ai pu percevoir, à deux reprises, un son assez bas, correspondant à environ 100 vibrations par seconde, montrant que l'organe est le siège de vibrations, comme cela a lieu pour le muscle pendant la contraction volontaire. Il faut, pour cela, fermer l'organe ausculté en

court circuit et pincer très légèrement l'animal, sans quoi les mouvements qu'il fait rendent l'observation impossible. Je n'ai pu réussir à l'entendre sur l'organe isolé excité artificiellement.

« IX. En enregistrant la décharge volontaire au moyen de deux signaux Deprez communiquant avec le même organe, mais l'un recevant le courant provenant de la partie antérieure, et le second de la partie postérieure, j'ai constaté un retard de quatre centièmes de seconde, du second sur le premier. L'organe constituerait-il plusieurs départements ayant des décharges indépendantes? Les faits signalés aux n°s VIII et IX demandent un supplément d'instruction.

« X. Enfin, on ne constate aucune différence de potentiel entre les deux faces de l'organe au repos. Cette différence ne se montre qu'au moment où l'animal lance volontairement sa décharge. Je poursuis ces recherches et je ferai connaître prochainement à l'Académie l'influence qu'exercent sur la décharge les principaux agents physiques et divers poisons des nerfs et des muscles. Il me sera plus facile, alors, de montrer comment la théorie physique de l'électrogenèse animale que j'ai proposée explique tous les phénomènes antérieurement connus, et m'a conduit à en découvrir de nouveaux. »

M. *Marey* présente, à propos de la note de M. *d'Arsonval*, les observations suivantes :

« La communication de M. d'Arsonval m'a vivement intéressé. Non seulement je suis heureux d'y trouver la confirmation des résultats que j'ai obtenus autrefois dans mes expériences sur la décharge de la Torpille, mais notre confrère a achevé de définir, au point de vue électrique, les caractères de cette décharge. Quant à la forme de chacun des flux électriques, et à la façon dont ils s'ajoutent entre eux pour porter la décharge à sa plus haute puissance, les tracés obtenus par M. d'Arsonval, beaucoup plus parfaits que les miens, montrent non seulement l'analogie des actes électriques avec les actes musculaires, mais l'identité des phases de ces deux phénomènes. On peut donc espérer que ces deux fonctions parallèles, la production d'énergie mécanique et celle d'énergie électrique s'éclaireront l'une par l'autre, il est à souhaiter que M. d'Arsonval cherche les effets que produisent, sur la décharge de la torpille, certains poisons et certains agents physiques dont l'action sur les muscles a déjà été étudiée. »

Sur un phénomène de phosphorescence obtenu dans des tubes contenant de l'azote raréfié, après le passage de la décharge électrique, par Gaston Séguy (1).

« On sait qu'en faisant passer la décharge électrique dans des tubes contenant de l'oxygène raréfié, on peut obtenir une phosphorescence, c'est-à-dire une lueur persistant après la décharge.

« Au cours d'une série nombreuse d'expériences sur l'azote et ses composés, j'ai été amené à découvrir que l'azote jouit de la même propriété que l'oxygène, du moins en présence de la vapeur d'un bichlorure métallique. Le tube est formé de trois grosses ampoules soudées bout à bout, et muni d'électrodes à ses extrémités. On le remplit à deux reprises d'azote extrait de l'air atmosphérique par le procédé Brin, en faisant le vide à chaque fois. On ajoute à l'azote des vapeurs de bichlorure d'étain. Si l'on fait alors passer la décharge électrique, on observe dans le tube une lueur brillante qui persiste après l'interruption du courant.

« La lumière émise par le tube à azote est rose pendant la décharge, tandis que dans le tube à oxygène elle est d'un gris violet. La phosphorescence est d'un blanc laiteux, remplissant tout le tube et laissant seulement obscurs quelques centimètres vers les pôles. Cette lueur a son éclat maximum aussitôt après l'interruption du courant, puis elle disparaît graduellement au bout de 10 à 80 secondes. »

(1) *Comptes rendus*, t. CXXI, p. 198.

Sur la force électromotrice des étalons L. Clark, Gouy et Daniell, par C. Limb (1).

« La méthode pour la mesure des forces électromotrices en valeur absolue, que j'ai eu l'honneur de présenter l'année dernière à l'Académie (2), m'a conduit aux valeurs suivantes, les éléments étant à 0 degré.

Lartimer Clark	1,4535	volt absolu
Gouy	1,3928	»
Daniell, type Fleming (3)	1,0943	»

« Pour l'élément L. Clark, j'ai adopté la forme en H. Au fond des tubes se trouve du mercure pur, en relation avec deux fils de platine servant de conducteurs. Sur l'un des mercures flotte une épaisse couche de sulfate mercureux pur ; sur l'autre un morceau de zinc pur, qui forme un amalgame. Dans les deux tubes se trouvent des cristaux de sulfate de zinc pur, et le reste de l'élément est rempli d'une solution saturée de ce même sulfate. Les tubes sont scellés à la cire d'Espagne.

« Pour l'élément Gouy, je me suis conformé strictement aux indications données par l'auteur (4), en m'astreignant à n'employer que des produits préparés par moi-même suivant ses indications.

« Pour l'élément Daniell, du type Fleming, j'ai employé une solution de sulfate de zinc pur, de densité 1,400 à 16 degrés, baignant le zinc pur amalgamé, et une solution de sulfate de cuivre, de densité 1,100, baignant un fil de cuivre électrolytique, recouvert d'une couche fraîche de cuivre électrolytique, juste au moment de l'expérience.

« Les étalons L. Clark et Gouy ont été recouverts d'une couche de vernis noir pour les préserver de la lumière, et l'élément Daniell, qu'on remplit à chaque fois, était placé dans l'obscurité.

(1) *Comptes rendus*, t. CXXI p. 199.
(2) Séance du 28 mai 1894.
(3) J.-A. Fleming, *Sur l'emploi de la pile Daniell comme étalon de force électromotrice* (*Philosophical Magazine and Journal of Science*, t. XX, p. 126; 1885).
(4) Gouy, *Sur une pile étalon* (*Comptes rendus*, 16 mars 1887, et *Journal de physique*, 2e série, t. VII, p. 532 ; 1888).

« L'élément Daniell voit sa force électromotrice augmenter, dans l'espace d'une heure, de plus de 1 pour 100, par le fait d'une légère oxydation du cuivre. Comme il faut le vider et le remplir à chaque expérience, ainsi que déposer du cuivre frais sur l'électrode positive, il n'est pas si commode à employer que les deux autres et ne présente pas la même garantie. Toutefois, lorsqu'on n'a pas besoin de la valeur absolue de sa force électromotrice, on peut lui donner la forme d'un élément ordinaire, modèle Callaud de préférence, et le faire travailler sur une résistance capable de lui faire débiter un courant d'environ 0amp.,05 par décimètre carré d'électrode. La différence de potentiel entre ses bornes présente, dans ces conditions, une constance remarquable, ainsi que l'ont remarqué déjà plusieurs expérimentateurs. L'élément Gouy est très robuste ; si, par suite d'une fausse manœuvre, il a été maltraité, traversé par des courants, il suffit de le mettre quelques minutes en court circuit : au bout de quelques heures, il a repris sa valeur première. De plus, son coefficient de température est assez faible. L'élément L. Clark a, au contraire, un fort coefficient de température ; néanmoins, lorsque celle-ci est bien déterminée, sa valeur est parfaitement fixe. Tous les éléments sont bien comparables, et la constance d'un même élément se maintient très grande. Toutes ces variations ne portent que sur le chiffre des dix millièmes. Lord Rayleigh (1) a trouvé pour la valeur de cet étalon (réduite à 0 degré) 1,4527 volts absolus ; ce nombre, qui ne diffère pas de $\frac{1}{1800}$ de celui qui résulte de mes propres déterminations, a été déterminé par la mesure d'un courant au moyen d'un électrodynamomètre absolu, et celle d'une résistance en valeur absolue, méthode qui ne rappelle en rien celle que j'ai suivie. »

(1) Lord Rayleigh, *Sur l'équivalent électrochimique de l'argent, et sur la force électromotrice absolue des éléments de Clarck* (*Philosophical Transactions of the Royal Society of London* ; 1884).

BIBLIOGRAPHIE

Etude analytique et graphique des courants alternatifs par F. BEDELL et A.-C CREHORE (Traduit de l'anglais par J. BERTHON) *G. Carré*, éditeur (prix 10 fr.).

J'ai déjà eu l'occasion de présenter la première édition anglaise de ce volume qui s'intitulait alors « Alternatings Currents » tout court. Le but des auteurs était de réunir en un seul volume une série d'études analytiques publiées par eux dans divers périodiques américains et plus particulièrement dans : *The transactions of the American Institute of Electrical Engineers*, et en ajoutant une étude graphique des mêmes questions.

La partie analytique se divise en plusieurs autres précédées chacune d'un chapitre introductif résumant les définitions et les principales lois qui y sont utilisées. MM. Bedell et Crehore étudient aussi successivement le cas d'une force électromotrice quelconque agissant sur un circuit ayant en série de la self-induction et de la résistance, puis celui où le circuit contient de la résistance et de la capacité et enfin le cas plus général où le circuit contient à la fois de la résistance, de la self-induction et de la capacité.

Leur façon de procéder est la même dans ces trois problèmes. Ils établissent d'abord la solution générale, c'est-à-dire le cas où la force électromotrice est une fonction du temps

$$e = f\ (t).$$

Ceci fait, ils examinent successivement les cas suivants :

$$e = f\ (t) = 0,$$
$$e = f\ (t) = \mathrm{E} = \text{constante},$$
$$e = f\ (t) = \mathrm{E} \sin \omega t.$$
$$e = f\ (t) = \Sigma\ \mathrm{E}_m \sin (m\omega t + \varphi_m).$$

Le premier cas correspond à la suppression de la force électromotrice agissant dans le circuit, et le second à l'introduction d'une force électromotrice constante.

Dans l'étude du cas général, que les lecteurs trouveront analysé dans la *Lumière Électrique* (1) et qui constitue la partie la plus intéressante du livre, les auteurs retrouvent les résultats des deux premiers, ce qui rend ceux-ci à peu près inutiles et donne à l'ensemble du livre une légère apparence de non-concision.

La partie théorique est terminée par une étude personnelle des auteurs et particulièrement simple sur la propagation du courant et du potentiel contenant de la self-induction et de la capacité distribuées uniformément. Cette solution a du reste été publiée *in extenso* dans la *Lumière Électrique* (2) et nous y renverrons le lecteur que le sujet intéresse.

Dans la seconde partie, les auteurs étudient graphiquement les problèmes concernant les circuits ayant en série de la résistance, de la self-induction et de la capacité et ceux plus généraux des circuits formés de plusieurs de ces éléments en dérivation et dont l'étude analytique est un peu plus compliquée.

Chacun de ces problèmes comporte également une discussion sur les effets occasionnés par la variation de l'un ou de l'autre des éléments constitutifs du circuit, mais en principe les développements mathématiques sont complètement bannis à de rares exceptions près de la seconde partie de l'ouvrage. Les auteurs ont essayé également dans cette partie de donner une idée de la représentation graphique de deux forces électromotrices de période différente et de leur résultante, ainsi que du courant qu'elles déterminent dans un circuit inductif. La complication relative de ce cas si simple montre suffisamment l'impossibilité d'arriver jamais à la représentation, par le même procédé que pour les fonctions périodiques simples, des fonctions périodiques quelconques.

L'ouvrage comprend en appendice quelques relations entre les unités électriques pratiques et les unités C.G.S, les analogies connues entre quelques formules de la mécanique et de l'électricité et enfin, ce par quoi on commence généralement, le tableau des nota-

(1) *Lumière Electrique*, t. XLVII, p. 117, 1893.
(2) *Lumière Electrique*, t. XLVI, p. 594, 1892.

tions usitées dans le livre. Dans la pensée des auteurs, si l'on veut en croire le titre, l'ouvrage s'adresse à la fois aux ingénieurs et aux étudiants. Je ne pense pas que les premiers puissent en tirer des considérations bien nouvelles, mais les seconds pourront y trouver exposées avec méthode des théories que tout électricien doit connaître surtout à l'heure actuelle où les courants alternatifs tendent à prendre une place prépondérante dans l'industrie électrique.

Pour terminer cette courte analyse, disons que M. Berthon nous a donné du livre de MM. Bedell et Crehore une traduction d'une clarté et d'une exactitude de termes qu'on aimerait à rencontrer dans toutes les traductions des ouvrages scientifiques étrangers.

F. GUILBERT.

OUVRAGES REÇUS

Mesure directe des forces électromotrices en unités absolues électromagnétiques, par Claudius LIMB préparateur de physique à la Faculté des sciences de Paris. — Thèse de doctorat. *Gauthier-Villars et fils*, éditeurs.

Elektro-metallurgie, par le D[r] W. BORCHERS Un vol. grand in-8 de 160 pages, *Harald Bruhn*, éditeur, Brunswik.

Recettes de l'Electricien, par É. HOSPITALIER rédacteur en chef de l'*Industrie Électrique*, in-16 de 352 pages. *G. Masson* éditeur.

CHRONIQUE

L'INDUSTRIE ÉLECTRIQUE EN FRANCE

Albi (Tarn). — *Utilisation de forces hydrauliques.* Nous avons déjà appelé l'attention des industriels sur la possibilité d'établir dans des conditions économiques une usine électrique sur la rive droite du Tarn, à la hauteur du barrage de Jussens (n° 5, 1895), et nous avons fait remarquer que la ville d'Albi avait intérêt à se réserver l'usufruit de ce barrage.

Aujourd'hui, M. Paulin Campa, conseiller municipal d'Albi mène une active campagne en faveur du projet de l'éclairage électrique avec utilisation de cette chute d'eau. Dans une brochure très documentée qu'il vient de consacrer à ce sujet, il établit le coût exagéré du gaz à Albi, et quelle économie résulterait pour la ville de la substitution de l'éclairage électrique.

Angers. — *Traction.* Un nouveau réseau de tramways à traction électrique vient d'être déclaré d'utilité publique par un décret du 8 juillet. Il est destiné au transport des voyageurs et des messageries entre Angers et Erigné et Angers et la Pyramide (Maine-et-Loire).

Bordeaux. — *Traction.* Sur le rapport du ministre des travaux publics, la construction d'une ligne de tramways à traction électrique de Bordeaux à Pessac, destinée au transport des voyageurs et, éventuellement, des messageries, vient d'être décrétée d'utilité publique, le 5 juillet.

Cannes. — *Exposition.* Le 15 décembre s'ouvrira à Cannes une exposition internationale organisée par M. de Montgaillard et dans laquelle une large place sera réservée à l'électricité et à ses applications.

En dehors du groupe 18 qui lui sera spécialement réservé, l'électricité pénétrera un peu partout dans les autres sections, surtout dans celle des sports, où elle est en effet susceptible de jouer un certain rôle.

Douai. — *Eclairage.* L'usine électrique appelée à donner l'éclairage de Douai sera installée dans le dépôt des machines. 5 grosses lampes à arc éclaireront le grand hall des voyageurs, 13 lampes du même genre éclaireront la gare de la petite vitesse, les voies de garage, etc., 4 ou 5 lampes seront affectées à chacun des quais militaires de la porte de Valenciennes et de la porte de Paris. De plus, 5 cabestans destinés à la manœuvre des wagons, actuellement faite par des chevaux, seront actionnés par l'électricité. On a déjà installé les supports des lampes et les cabestans et l'on pense que la nouvelle installation pourra fonctionner en septembre.

La Flèche (Sarthe). — *Eclairage.* Une Société vient de se constituer pour l'éclairage électrique de la Flèche. M. Germier, le promoteur de l'éclairage du Lude, est le directeur de cette Société, depuis le 22 mai. L'installation qui comprend une machine Davey-Paxman, une dynamo Champion et des accumulateurs Pisca fonctionne

d'après ce qui a été convenu, depuis le 15 août dernier. Il convient d'ajouter que la nouvelle Société espère, au moyen d'accumulateurs sur camion, pouvoir éclairer d'autres parties de la ville.

Grasse (Var). — *Eclairage.* La Compagnie du gaz vient de présenter à la municipalité de Grasse une demande de concession pour l'éclairage électrique de la ville de Grasse, Il n'est guère probable que cette demande, postérieure à la concession accordée par le Conseil municipal à M. Bertolus, de Saint-Etienne, soit prise en considération en dépit des conditions avantageuses consenties par M. Bertolus.

Lyon. — *Traction.* La maison Teste fils, Pichat, Morel et Cie, de Lyon, vient de déposer entre les mains du maire de Lyon une demande de concession d'un tramway à traction électrique, partant de l'extrémité est du boulevard de la Croix-Rousse et aboutissant à la place de Trion à Saint-Just, reliant les voies ferrées des deux plateaux.

Cette ligne suit le boulevard de la Croix-Rousse traverse le champ de manœuvres (clos Jouve) dans sa partie ouest, franchit la Saône au-dessus de l'Homme-de-la-Roche sur un pont suspendu rigide, passe à une dizaine de mètres au-dessous de la Tour de Fourvières, se dirige à flanc de coteau vers Loyasse, dont il franchit la crête sous un petit tunnel pour atteindre la place de Trion par une pente modérée.

Le montant total des travaux atteindra 5 millions de francs.

Ce projet comporte la création d'une voie de communication nouvelle depuis le clos Jouve jusqu'a la place de Trion, laquelle, d'après le projet, sera à libre circulation.

En raison de cette cession à libre circulation d'une voie construite par les concessionnaires, ceux-ci demandent à la ville et au département de leur consentir une subvention de 2 millions de francs, qui représentent près de la moitié seulement des dépenses relatives à la voie nouvelle cédée à la libre circulation.

Maubeuge. — *Eclairage.* Le monopole du Gaz de Maubeuge devait expirer dans trois ans. Pour parer à cette désolante éventualité, le Conseil municipal de cette ville vient de renouveler son traité pour une période de... trente ans, sous prétexte que l'éclairage électrique « n'est pas encore pratique ».

Pour fiche de consolation au public, on a inséré dans le nouveau traité une clause par laquelle la Compagnie du gaz sera tenue de fournir l'éclairage électrique lorsqu'il sera reconnu pratique (par la Compagnie du gaz?).

Montpellier. — *Traction.* Nous lisons dans le *Journal de l'Electricité* que le projet primitif d'installation d'un réseau de tramways électriques a subi de notables modifications.

Dans le premier projet, les concessionnaires, tout en promettant de développer plus tard leur réseau, demandaient seulement, pour le moment, la concession d'une ligne destinée à desservir les boulevards, à partir de la gare jusqu'au pont du Peyrou, en passant, d'un côté par le boulevard Jeu-de-Paume, de l'autre, par le boulevard de l'Esplanade et le boulevard de l'Hôpital-Général.

En un point de ce dernier boulevard, au droit de la rue du Séminaire, serait venue s'embrancher une ligne desservant Castelnau par la Pierre-Rouge. C'était tout.

Le projet qu'on présente aujourd'hui et qui sera soumis à l'approbation de l'assemblée communale dans une séance prochaine — avant la fin du mois probablement — a des proportions bien plus vastes. La longueur de la ligne faisant le tour des boulevards est considérablement augmentée. Après être passée sous le pont du Peyrou, en venant du côté du boulevard du Jeu-de-Paume, la ligne tournera pour prendre le faubourg Saint-Jaumes et desservir l'avenue Chancel, le rond-point de l'Ecole normale, l'avenue Bouisson-Bertrand, la place de l'Hôpital-Général, le boulevard de l'Hôpital, le boulevard de l'Esplanade, la gare.

Le point de départ de la ligne destinée à desservir Castelnau se trouvera sur la place du Pila-Saint-Gély et cette ligne passera par l'abattoir, la rue des Patriotes et l'ancien chemin de Castelnau.

En outre, la gare P.-L.-M. sera reliée à l'octroi de Palavas par une ligne qui passera par le pont de Lattes, la rue du Pont-de-Lattes et la route de Palavas, de sorte que, pour la modique somme de 10 centimes on pourra faire le trajet de l'octroi de Palavas au rond-point de l'Ecole normale.

Le réseau sera en outre complété : 1° par une ligne partant de la gare de Palavas et suivant la place de la Comédie, la rue Maguelonne jusqu'à la gare, pour aller de là jusqu'à l'octroi du faubourg Saint-Dominique, en passant par la rue de la République, la Saunerie et le cours Gambetta; 2° par

une ligne partant de l'octroi de la route de Toulouse et allant aboutir à l'entrée du Peyrou, en passant par la place Saint-Denis, la rue du Grand Galion, le boulevard Victor-Hugo, la place de la Comédie, la rue de la Loge et la rue Nationale.

Enfin, grâce à une entente avec la commission des hospices, qui s'engagerait à payer une redevance annuelle de 6 000 francs, une ligne partant de l'Hôpital suburbain aboutirait au rond-point de l'Ecole normale et s'embrancherait à ce point sur la ligne des boulevards.

Ainsi que nous l'avons dit, le Conseil municipal sera prochainement appelé à se prononcer sur ce projet. S'il émet un vœu favorable, on devra procéder aux formalités d'enquête et obtenir ensuite le décret déclaratif d'utilité publique. Une fois ce décret signé les travaux pourront être commencés.

Les concessionnaires pensent que tout le réseau pourrait être livré au public, en mai 1896, c'est-à-dire au moment de l'ouverture du concours régional agricole. Toutefois, d'après l'avis des hommes compétents, pour que les travaux fussent entièrement terminés à cette date, il faudrait que les formalités fussent terminées, au plus tard, le 1er novembre prochain, et qu'on se mette aussitôt à l'œuvre.

Mustapha (Algérie). — *Traction.* La Société concessionnaire des tramways électriques allant de l'hôpital du Dey à la colonne Voirol va être remplacée par la Compagnie française Thomson-Houston.

Rouen. — *Eclairage.* Le maire de Rouen est autorisé à traiter avec la Société normande d'électricité pour l'éclairage du théâtre des Arts. Le rapport déclare qu'il y aura économie annuelle de plusieurs milliers de francs lorsque les frais d'installation seront amortis, ce qui ne demandera pas plus de quinze ans.

Vendœuvre. — *Eclairage.* Les études commencées il y a plus de deux ans pour l'installation de l'éclairage électrique ont été reprises il y a quelques semaines.

On affirme que la question serait à la veille d'une solution conforme à l'intérêt général.

Projet de pont tournant électrique pour l'Exposition de 1900. — Un projet de pont tournant, actionné par l'électricité, a été présenté au Commissaire général de l'Exposition Universelle de 1900, par M. Devie. Ce pont, construit en face de l'Esplanade des Invalides, serait constitué par une pile unique établie au milieu de la Seine, et, sur cette pile, une vaste plate-forme relierait les deux rives. Son diamètre sera de 136 mètres, sa circonférence de 427 mètres et sa surface de 14 552 mètres. Enfin, une tour occupant le centre de la plate-forme, serait occupée par des cafés, restaurants, etc. L'inventeur se propose, pour obtenir la rotation du pont, l'emploi du système suivant : un pivot central supportera tout le système à la façon des presses hydrauliques, et des vérins puissants permettront de soulever l'ensemble pour mettre la couronne en contact avec les galets. Quant à l'entraînement, il se fera sur la circonférence, côté des Invalides et côté des Champs-Elysées, au moyen de 24 bobines actionnées par des dynamos agissant à frottements contre les parois du pont.

Il va de soi que le pivotement de cette plate-forme sera très lent, de telle sorte que le public puisse passer aisément du quai sur le pont. Ce système, dans l'opinion de son inventeur, permettrait le transport des visiteurs d'une rive à l'autre sans qu'ils aient à marcher et supprimerait, par suite, l'encombrement inévitable sur un pont ordinaire.

Procès en contrefaçon. — Nous apprenons que MM. Schneider et Cie, concessionnaires exclusifs pour la France des brevets Tesla, relatifs aux moteurs électriques à champ tournant, viennent d'assigner en contrefaçon la Société des Etablissements Weyher et Richmond, qui construit les moteurs Brown, MM. Guitton et Bertolus, concessionnaires des usines d'Œrlikon, M. Joly, représentant à Lyon de la maison Alioth de Bâle, et la Société grenobloise, qui exploite une installation à champ tournant.

Le système métrique. — Pour hâter l'adoption du système métrique en Angleterre, les délégués français du Congrès de géographie ont promis au gouvernement britannique que la France adoptera le méridien de Greenwich, si l'Angleterre veut introduire obligatoirement le système métrique. Nous ne perdrions pas au change.

L'Éditeur-Gérant : GEORGES CARRÉ.

Paris. — Imprimerie L. MARETHEUX, 1, rue Cassette.

Tome IV. Samedi 24 Août 1895. 2e Année. — N° 34.

L'Éclairage Électrique

REVUE HEBDOMADAIRE D'ÉLECTRICITÉ

DIRECTEUR SCIENTIFIQUE : J. BLONDIN

SECRÉTAIRE DE LA RÉDACTION : G. PELLISSIER

L'ÉLECTRICITÉ A BORDEAUX

L'exposition organisée par la Société philomathique de Bordeaux, ainsi que le Congrès de l'Association française pour l'avancement des sciences, ont attiré dans l'ancienne capitale de la Guyenne un grand nombre d'électriciens; aucun d'eux ne l'a regretté, grâce à l'accueil aimable des organisateurs. L'exposition en elle-même est, d'ailleurs, parfaitement réussie, et la Société philomathique a lieu d'être fière de son succès.

Une galerie spéciale a été construite à l'extrémité de la place des Quinconces, pour abriter les expositions relatives à la science et à l'industrie électriques ; une usine d'électricité a été installée pour l'éclairage des palais et des jardins; elle sert également de salle d'exposition pour les industriels; la galerie des machines contient aussi quelques expositions relatives à l'électricité; enfin, une installation particulière, « la Maison électrique », a été édifiée dans les jardins; sous forme attrayante, toutes les applications domestiques de l'électricité y sont démontrées. C'est dire que l'électricité joue à l'Exposition de Bordeaux un rôle important; les exposants ont répondu en assez grand nombre à l'appel des organisateurs.[1] Mais, la plupart des appareils exposés ayant déjà été décrits dans le journal, soit au moment de leur apparition, soit à propos de l'Exposition de Lyon, nous nous bornerons, dans cet article, à jeter un rapide coup d'œil sur l'ensemble des installations ; nous consacrerons bientôt des articles séparés aux appareils qui nous ont semblé devoir mériter une mention particulière. Nous ferons précéder cette Note de quelques renseignements sur l'éclairage électrique à Bordeaux, Enfin dans un prochain article, nous rendrons compte de la discussion qui a eu lieu, au Congrès de l'Association française pour l'avancement des sciences, — de l'Afas, comme on l'appelle vulgairement — au sujet de la traction mécanique des voitures de tramways.

L'ÉCLAIRAGE ÉLECTRIQUE A BORDEAUX

Bordeaux est une ville très intéressante au point de vue de l'éclairage électrique. Non seulement certaines de ses voies, près de la place de la Comédie, comme les allées de Tourny, y sont éclairées avec une abondance telle que nos conseillers municipaux de Paris ne perdraient certainement pas leur temps et notre argent en allant y puiser un exemple, mais encore, les stations centrales qui fournissent l'énergie électrique aux particuliers sont parmi les rares privilégiées qui distribuent des dividendes avouables ; cela tient aux conditions particulières d'exploitation et à la sagesse avec laquelle elles ont été organisées.

Aucune des stations centrales ne fait d'éclairage public; la Compagnie du gaz, qui a un traité avec la Ville — ce dont elle a profité, disons-le en passant, pour faire à celle-ci un

procès parce qu'elle a permis aux usines d'électricité de s'installer — allume au moyen d'une petite usine particulière les quelques lampes électriques publiques.

L'éclairage électrique particulier, de beaucoup le plus important, est assuré par quatre stations centrales. Ce sont : la station du cours de l'Intendance, la station de la rue du Temple, la station Bussy, dans la rue Margaux et la station de la rue Sainte-Catherine. Les deux premières alimentent un même réseau d'éclairage, celui de la Société d'éclairage électrique de Bordeaux et du Midi. Il existe une autre station particulière exploitée près de la gare du Médoc; nous ne l'avons pas visitée; nous ne parlerons que de celles que nous avons vues.

Voici quelles sont leurs caractéristiques principales.

STATIONS CENTRALES DU COURS DE L'INTENDANCE ET DE LA RUE DU TEMPLE

La première de ces stations comprend actuellement trois moteurs compound sortant des ateliers de la Compagnie des Chantiers de la Loire, identiques entre eux; leur puissance est de 150 chevaux à 150 tours, avec une pression de vapeur de 9 kg.

Deux de ces moteurs actionnent chacun 2 dynamos Gramme, du type supérieur, de 110 volts et 450 ampères, à 550 tours; le troisième, 2 dynamos Gramme hexapolaires donnant 110 volts et 475 ampères, à 450 tours. La distribution s'y fait suivant le système à 3 fils, sans feeders; son rayon maximum de distribution est de 1000 mètres environ. Comme pour toutes les autres Compagnies à Bordeaux la canalisation est aérienne. L'écheveau des câbles qui aboutissent à la station centrale est d'un effet peu agréable.

Cette station centrale est installées dans la cour d'un ancien hôtel particulier que la Compagnie a loué en entier; elle ne comportait d'abord qu'un seul groupe, qui n'a pas tardé à devenir insuffisant; elle a été alors augmentée d'un groupe, puis de deux, avec augmentation proportionnelle du capital.

Grâce à cette organisation rationnelle, les bénéfices donnés par l'exploitation ont été fort beaux et, la première installation devenant insuffisante, le Conseil d'administration n'a pas hésité à installer la nouvelle usine de la rue du Temple, beaucoup plus importante que la première et qui devait, d'après les plans primitifs, comprendre 8 groupes identiques de un moteur de 150 chevaux actionnant directement 2 dynamos Gramme hexapolaires de 450 ampères. Les premiers groupes furent installés d'après ces données; mais les organisateurs pensèrent que, si des groupes de ce genre avaient donné pleine satisfaction pour la petite installation primitive, on pouvait espérer de meilleurs résultats encore de groupes plus puissants dans la nouvelle usine. Celle-ci comprend donc, à l'heure actuelle:

Un groupe d'un moteur compound, de 150 chevaux, tournant à 150 tours par minute, et attaquant par ses deux volants, par courroies, deux dynamos Gramme hexapolaires, donnant 110 volts et 450 ampères à 460 tours;

Un autre groupe semblable, sauf que les deux dynamos sont du type Gramme supérieur, donnant 375 ampères à 650 tours; ce groupe sert de réserve.

Deux groupes de 1 moteur Davey Paxman, de 150 chevaux à 150 tours, attaquant directement par accouplement élastique Raffard, deux dynamos Gramme décapolaires, donnant 110 volts et 500 ampères.

Enfin, un moteur Corliss, horizontal, de 600 chevaux, à 60 tours, attaquant par double transmission quatre dynamos de 750 ampères et 120 volts à 250 tours.

La chaufferie comprend : 3 chaudières Montupet de 140 m² de surface de chauffe, donnant, par heure, chacune 2000 kg. de vapeur à la pression de 9 kg., et 2 chaudières Paxman, avec émulseurs Dubiau, de 60 m² de surface de chauffe et d'une puissance égale à celle des premières. Les émulseurs Dubiau, qui assurent une excellente circulation de l'eau et permettent de diminuer beaucoup les dangers d'accidents, sont très intéressants; nous en

donnerons bientôt la description détaillée.

Les deux usines de la rue du Temple et du Cours de l'Intendance sont, comme nous l'avons dit, sous la même direction et se partagent le travail afin de simplifier la main-d'œuvre et d'utiliser le mieux possible le matériel. L'usine du Cours de l'Intendance alimente le réseau de 8 heures du matin à minuit et celle de la rue du Temple, depuis le coucher du soleil jusqu'à minuit. Il y a 250 lampes arc de 6 à 10 ampères et 8000 lampes à incandescence de 16 bougies installées. Le prix de vente de l'hecto-watt heure varie de 8 à 10 centimes suivant le genre de clientèle.

STATION CENTRALE DE LA RUE MARGAUX

L'usine dirigée par M. Bussy est beaucoup moins importante : elle n'alimente que 175 lampes à arc de 5 à 8 ampères, et 1 800 lampes à incandescence de 10 ou 16 bougies. Le débit varie suivant les saisons de 700 à 1500 ampères. Elle est remarquable en raison du soin avec lequel son directeur a supprimé tous les frais généraux qu'il était possible d'éviter; M. Bussy est à la fois le directeur, l'ingénieur et le comptable; l'espace y est utilisé jusqu'au dernier centimètre, trop peut-être, car en cas de réparations, les manœuvres doivent être particulièrement difficiles. Mais, de cette façon, les bénéfices réalisés sont très importants eu égard au chiffre d'affaires réalisé, tandis qu'avec une organisation luxueuse, l'exploitation aurait été peu rémunératrice. C'est un exemple qu'on pourrait suivre utilement dans bien des circonstances où les frais généraux exagérés absorbent tous les bénéfices.

Cette usine comprend :

2 moteurs compound de 200 chevaux chacun, à 180 tours, à la pression de 20 kg.; un d'eux actionne 2 dynamos à accouplement direct, du type Gramme octopolaire, donnant 650 ampères et 125 volts; l'autre actionne par courroies 2 dynamos d'un type semblable, mais tournant à la vitesse angulaire de 300 tours.

1 moteur de 100 chevaux faisant 200 tours à la minute et actionnant par courroies 2 dynamos Gramme, type supérieur, donnant, à 500 tours par minute, 300 ampères et 125 volts.

1 moteur de 50 chevaux faisant 125 tours à la minute et actionnant, par courroies superposées, 2 dynamos Gramme, type supérieur, de 100 ampères à 200 volts, à la vitesse angulaire de 810 tours à la minute. Ce groupe tourne pendant le jour; il sert à la charge de 2 batteries d'accumulateurs de chacune 65 éléments Expert-Besançon, d'une capacité de 600 ampères avec un débit normal de 90 ampères. Il y a en outre 11 éléments de réduction à chaque batterie.

Pour la charge des accumulateurs, on emploie aussi un survolteur comprenant un moteur Gramme, type supérieur, de 120 volts et 200 ampères, actionnant directement, par accouplements Raffard, 2 génératrices de même type donnant chacune 75 ampères et 165 volts.

La distribution se fait par le système à trois fils directement, sauf 2 lignes qui sont alimentées par feeders. Le rayon maximum de distribution a 860 m. de longueur. Il y a deux réseaux distincts de distribution : un pour les abonnés au forfait qui reçoivent le courant depuis le coucher du soleil jusqu'à minuit, et un autre pour les abonnés au compteur qui reçoivent le courant toute la journée, au prix de 8 à 10 centimes l'hecto-watt heure, suivant leur importance.

Les machines tournent depuis le coucher du soleil jusqu'à minuit, lorsque tous les abonnés sont en réseau; le reste du temps, le service des abonnés au compteur est assuré par la batterie d'accumulateurs qui a donné d'excellents résultats et dont l'emploi est dans ce cas parfaitement justifié et a permis de réaliser de sérieuses économies.

Les chaudières, qui fournissent la vapeur à la pression de 11 kg., comprennent :

1 chaudière avec émulseurs Dubiau de 3000 kg.

1 chaudière multitubulaire ordinaire de 2000 kg.

et 1 du même type de 1 500 kg.

USINE DE LA RUE SAINTE-CATHERINE

Cette usine a été organisée en 1891 par la Société alsacienne de Constructions mécaniques. Elle a été jusqu'à présent mal dirigée et n'a pas donné les résultats qu'on en attendait; sa situation est, du reste, moins habilement choisie que celle des trois premières. Elle alimente 180 lampes à arc de 4, 6 et 8 ampères et environ 2000 lampes à incandescence de 16 bougies; son débit maximum a été de 1500 ampères; son rayon maximum de distribution est de 750 m. La distribution s'y fait par le système à 3 fils, et le réseau est alimenté par 8 feeders indépendants.

Elle comprend :

Un moteur Corliss de 100 chevaux faisant 70 tours à la minute et attaquant par double transmission, deux dynamos Siemens, à collecteur à barres d'acier isolées à l'air, de 130 volts et 250 ampères, à la vitesse angulaire de 750 tours à la minute.

Un moteur compound Armington et Sims, de 150 chevaux, attaquant directement par courroies, deux dynamos du même type que les premières mais donnant un courant de 400 ampères.

Enfin, un moteur compound, de 200 chevaux, attaquant par courroies deux dynamos du même type, donnant chacune 600 ampères.

Les collecteurs à barres d'acier isolées à l'air ont donné, comme on pouvait s'y attendre, de mauvais résultats et vont être changés.

La vapeur est fournie, à la pression de 10 kg. par :

Une chaudière Babcock et Wilcox, de 133 m^2 de surface de chauffe.

Deux chaudières de Naeyer, une de 131 m^2 et l'autre de 250 m^2 de surface de chauffe.

La vente s'y fait au compteur aux mêmes prix que ceux déjà cités pour les autres usines, depuis le coucher du soleil jusqu'à une heure du matin ou deux heures au plus tard.

Le tableau de distribution comprend quelques appareils particuliers tels que disjoncteurs automatiques à minima, régulateurs automatiques du champ magnétique. Mais la plupart de ces appareils n'ayant pas fonctionné régulièrement, nous n'y insisterons pas.

RÉSUMÉ

Ces quatre usines sont très voisines les unes des autres; la distance qui sépare les deux extrêmes n'atteint pas 1 kilomètre. Les résultats favorables qu'a donnés leur exploitation peuvent être attribués à plusieurs causes :

La distribution se fait par câbles aériens, ce qui est peu artistique, nous en convenons, mais a permis de réduire considérablement les frais de premier établissement et d'entretien.

Le réseau de chaque station est peu étendu et alimente des installations très favorables. On se trouve presque en présence d'une distribution par îlots qui, on le sait, est la plus avantageuse.

Enfin les usines ont été organisées avec une grande sagesse, et développées au fur et à mesure des demandes, ce qui a permis de réduire les charges financières et les frais généraux au minimum. La municipalité de Bordeaux s'est montrée particulièrement intelligente en n'imposant aucune charge à l'industrie nouvelle de l'éclairage électrique. Son traité avec la Compagnie du gaz la liait à cette dernière; elle a simplement autorisé les électriciens à établir leurs réseaux sans leur imposer de les étendre à des quartiers improductifs où les services rendus eussent été faibles, ou de fournir de l'éclairage public qui est, en général, assez onéreux pour des Compagnies dont l'exploitation n'est pas encore suffisamment développée. Nous espérons revenir bientôt sur les résultats de l'exploitation de ces stations centrales.

L'ÉLECTRICITÉ A L'EXPOSITION

L'Exposition de 1895 est la treizième exposition organisée par la puissante Société philomathique de Bordeaux. Elle est établie, comme ses aînées sur la belle place des Quinconces, au bord de la Garonne, et en plein centre de la ville. Cette place a une superficie d'environ 100000 mètres carrés; c'est dire

que l'exposition y est à l'étroit; on avait pensé d'abord à la transférer dans la banlieue de Bordeaux; les organisateurs y ont renoncé par crainte de nuire au succès de l'œuvre. On peut se demander si ce raisonnement est complètement juste; en effet, les Compagnies de tramways et les loueurs de voitures de place, que nous avons interrogés, nous ont affirmé que leur trafic avait considérablement diminué, depuis l'ouverture de l'exposition, tout le monde restant aux Quinconces; le public qui avait l'habitude de se transporter par plaisir hors de la ville s'y serait porté encore en plus grand nombre si l'Exposition l'y avait attiré et si les facilités de transports en commun avaient été suffisantes, et, par conséquent, l'affluence sans être aussi considérable qu'aux Quinconces aurait peut être encore été assez grande pour assurer le succès de l'entreprise.

Ceci posé occupons-nous de la partie électrique de l'exposition.

Le service de l'éclairage électrique de l'exposition a été confié à la Société d'éclairage électrique de Bordeaux et du Midi. Il comprend 1 800 lampes à incandescence, 800 sont placées sur la façade du palais de l'électricité, 600 dans le dôme central et 400 sur la façade des quais; enfin 220 lampes à arc, système Cance, de 10 ampères donnant une intensité lumineuse d'environ 1 000 bougies chacune sont réparties dans les palais et les jardins. Des fontaines lumineuses sont installées dans le jardin, entre le palais principal et la galerie de l'électricité.

Le courant nécessaire à l'alimentation de ces lampes est fourni par deux stations; dans la première, qui est située dans un bâtiment spécial, dans les jardins, la force motrice est fournie par des moteurs à vapeur, tandis que dans la seconde, qui occupe une partie de la galerie d'électricité, les dynamos sont actionnées par des moteurs à gaz. Chaque constructeur a exposé ses différents modèles qui concourent au résultat général.

C'est ainsi que, dans l'usine des moteurs à vapeur, la Société des moteurs Filtz expose un petit moteur rotatif pouvant développer, sous de très faibles dimensions, une puissance de 4 chevaux, à 3 000 tours, à la pression de 8 kg. Ce moteur, sur la description duquel nous reviendrons bientôt, a une élasticité considérable; le modèle ci-dessus actionne directement sur son arbre une dynamo Gramme, type supérieur, de 110 volts et 15 ampères dont la vitesse angulaire n'est que de 1 500 tours à la minute.

La même Société expose un autre moteur du même type, mais, d'une puissance de 25 chevaux, à 350 tours, attelé directement à une dynamo Postel Vinay, de 110 volts et 200 ampères.

Avant de quitter les moteurs rotatifs signalons le groupe exposé par la Société de Laval, qui se compose d'une turbine faisant 13 000 tours à la minute, et attaquant après réduction de vitesse angulaire au moyen de deux trains d'engrenages, les deux armatures d'une dynamo jumelle, construite par la maison Bréguet. Cette dynamo ne comprend qu'un seul circuit magnétique, type Manchester, mais comporte deux armatures à axes parallèles, disposées entre les inducteurs, comme dans le type Manchester ordinaire à une seule armature. Chaque armature fait 1 300 tours à la minute; l'ensemble donne 220 volts et 550 ampères; ce groupe est destiné à la distribution directe à 3 fils; il est d'une construction très simple, mais il nous semble assez difficile d'obtenir l'égalité des flux magnétiques dans les deux armatures.

La même Société expose, dans la Galerie des Machines, différents modèles de puissances variant entre 5 et 50 chevaux, attelés à des dynamos à anneau Gramme, type Manchester, du modèle ordinaire de la maison Bréguet.

Les autres groupes exposés dans la station des moteurs à vapeur sont :

Une dynamo Siemens de 120 volts et 700 ampères, à 180 tours, attelée directement à un moteur compound Armington et Sims, de 250 chevaux.

Une dynamo Crompton, de 120 volts et 900 ampères, attelée directement à un moteur Willans de 200 chevaux à 360 tours.

Enfin un alternateur volant, système Cail-Helmer ; nous nous contenterons aujourd'hui d'en indiquer les caractéristiques principales et nous lui consacrerons d'ici peu un article spécial. Le moteur à vapeur horizontal, d'une puissance maxima de 75 chevaux, peut donner, sans condensation 38 chevaux et avec condensation 50 chevaux ; il fait 95 tours à la minute. L'alternateur a une puissance utile de 45 000 watts ; la différence de potentiel efficace est de 2 000 volts, et l'intensité de 22,5 ampères ; le nombre de pôles est de 76 et, par conséquent, la fréquence de 60 périodes. Le courant de l'excitatrice passe d'abord au tableau pour la régulation du champ, puis directement aux inducteurs : le courant produit va directement de la couronne aux transformateurs, puis dans le tableau de distribution, passe aux instruments de mesure et de protection et de là aux interrupteurs des circuits.

La chaufferie comprend :

Deux chaudières Belleville, à tubes à eau, donnant ensemble, par heure, 3 000 kg. de vapeur à la pression de 15 kg. ; un détendeur la ramène à la pression de 8 kg.

Deux chaudières de Babcock et Wilcox, d'une puissance égale, timbrées à 12 kg.

Enfin, une chaudière de Naeyer de 5 000 kg. avec émulseur Dubiau.

La station centrale des moteurs à gaz, située, comme nous l'avons dit, à l'extrémité nord de la galerie de l'électricité, comprend :

Un moteur à gaz pauvre, de Besnier, à un cylindre, d'une puissance de 4 chevaux, faisant 180 tours à la minute et actionnant une petite dynamo Thury de 110 volts et 30 ampères.

Un moteur Charron, à deux cylindres, d'une puissance de 50 chevaux à 160 tours actionnant par courroies une dynamo Desroziers.

Un moteur Charron à un seul cylindre, d'une puissance de 35 chevaux à 160 tours, actionnant une dynamo Sautter Harlé.

Un moteur Niel à un seul cylindre d'une puissance de 35 chevaux à 180 tours, actionnant par courroies une dynamo Cail.

Enfin, un moteur Otto à deux cylindres, d'une puissance de 25 chevaux et actionnant une dynamo Gramme type supérieur.

On voit que l'éclairage électrique de l'Exposition de Bordeaux, malgré les faibles proportions de celle-ci est assuré par un matériel plus considérable que celui de beaucoup de stations centrales de villes importantes.

Parmi les autres objets exposés, on peut citer : les lampes à arc de Brianne, celles de Cance, qui servent à l'éclairage de l'Exposition; les lampes à incandescence de haute intensité lumineuse, (jusqu'à 1 000 bougies), de la Compagnie générale, les accumulateurs Expert-Bezançon, ainsi que les accumulateurs à lames radiales de Peyrusson, dont il a été rendu compte ; une pile à écoulement à grand débit, de Gendron, comprenant 32 bacs en tension de 6 éléments en quantité ; la pile Junius, dont nous avons parlé dans le numéro précédent. Dans un autre ordre d'idées, on peut citer : les appareils d'électricité médicale de Chardin, les avertisseurs d'incendie de Lebée, les appareils enregistreurs bien connus de Jules Richard, les appareils servant à la distribution de l'heure par l'électricité ainsi qu'un marégraphe enregistreur de Lépante. L'industrie téléphonique est représentée par la Société industrielle des Téléphones qui n'expose que quelques modèles courants fort bien exécutés ; par M. Daizan qui expose des appareils domestiques genre Mildé et par la Société du Théâtrophone qui a organisé des auditions téléphoniques des principaux théâtres et concerts de la capitale.

M. Lombard-Gérin et Cie, exposent les principaux modèles du matériel pour courants alternatifs construits par Schneider et Cie, du Creusot, et comprenant des générateurs, transformateurs et moteurs du système Zipernowski, Deri-Blathy et du système Tesla.

La Compagnie de Fives-Lille expose sa dynamo pour distribution à 3 fils, précédemment décrite, ainsi que des générateurs et des moteurs à courants polyphasés, et un équipement de tramway électrique. Dans la galerie

des machines, MM. Balas et Couffinhal, de Saint-Etienne exposent une dynamo quadrapolaire à courant continu, entraînée par un moteur à vapeur de Biétrix; cette dynamo ne présentant rien de particulier, nous nous bornerons à la signaler.

L'Administration des Phares et Balises a fait une exposition très intéressante et d'autant plus remarquée que les modifications profondes apportées dans ces derniers temps à l'éclairage et au balisage de la Gironde en font une question d'actualité. On peut se faire une idée des progrès apportés dans cette branche si utile de l'art de l'ingénieur par l'invention des feux-éclairs, en sachant par exemple, que le phare de la pointe de la Coubre, destiné à remplacer le phare de premier ordre de Cordouan, a une intensité lumineuse maxima de 2 000 000 de carcels, et une portée de 56 milles et que ce n'est pourtant qu'un phare de troisième ordre! L'ancien feu de Cordouan n'avait qu'une intensité lumineuse de 6 200 carcels et les phares les plus puissants, en Angleterre, comme ceux du cap Lizard, n'ont qu'une intensité de 600 000 carcels, bien qu'ils emploient des charbons de 6 cm. de diamètre. L'invention des feux-éclairs est le plus grand progrès qu'aient fait les phares depuis Fresnel. Nous reviendrons bientôt sur cette question des phares électriques. Nous avons également remarqué un phare construit par la maison Bénard-Barbier et dont la rotation est assurée par un petit moteur magnéto-électrique actionné par des piles sèches; la régularité du mouvement semble parfaite et les avantages de cette disposition au point de vue de l'entretien et de la surveillance sont évidents.

Enfin, pour terminer cette rapide revue, nous signalerons la maison électrique, dans laquelle les organisateurs et M. Limb ont groupé avec intelligence toutes les applications de l'électricité aux usages journaliers. Le sous-sol comprend les générateurs et une batterie d'accumulateurs Peyrusson, puis les appareils de cuisine électrique, une machine à faire la glace, le treuil d'un ascenseur électrique Edoux, et d'un monte-plats électrique, aboutissant au premier étage, au centre de la table, dans la salle à manger. Une installation de soudage électrique, d'après les procédés Hoho et Lagrange a également été disposée dans le sous-sol. Le premier étage et le second, sont disposés en appartements dont les différentes pièces ont été aménagées pour servir à la démonstration des applications domestiques de l'électricité : éclairage, chauffage, téléphonie, etc. On y trouve jusqu'à un berceau automatique, mû par un petit moteur électrique, et muni d'un phonographe qui est chargé de verser au marmot les pavots du sommeil sous forme de refrains de cafés-concerts! Edison, jadis avait inventé un berceau du même genre : une plaque vibrante établissait le contact et mettait le moteur en marche dès que l'enfant criait; en outre un circuit de sonnerie habilement dissimulé sous les langes et non moins habilement interrompu sous ce rudiment d'humanité, permettait d'avertir la maman que les draps, devenus conducteurs, devaient être changés... !

G. PELLISSIER.

ÉTUDES EXPÉRIMENTALES

SUR L'ÉTINCELLE DISRUPTIVE

I

On sait depuis longtemps combien la présence d'une étincelle dans un circuit électrique en modifie profondément les propriétés. Les spectroscopistes ont, de longue date, observé les modifications profondes qu'éprouvent les tubes à vide, lorsqu'au lieu de les exciter au moyen d'un circuit fermé, on les excite au moyen du même circuit présentant une étincelle en un de ses points. Ils ont vu, dans nombre de circonstances les tubes augmenter beaucoup d'éclat, et même parfois, le spectre émis par le gaz raréfié changer d'aspect. Quand le tube contient un mélange de gaz, on voit quelquefois le spectre qui parais-

sait le plus intense à circuit fermé, diminuer d'intensité relative lorsque l'étincelle jaillit, et le spectre précédemment le moins intense prendre l'éclat prépondérant. Certains corps même, quoique chimiquement purs, ne présentent pas le même spectre quand on les rend lumineux au moyen de la décharge simple de la bobine, ou au moyen de cette même décharge, interrompue par une étincelle. Enfin, est-il besoin de rappeler que M. Berthelot a obtenu un meilleur résultat pour la combinaison de l'ozone avec la vapeur de benzine, en faisant jaillir une étincelle dans le circuit?

Ces faits n'ont pas, que je sache, été le sujet d'une explication précise, quoiqu'ils soient connus depuis de longues années.

Depuis longtemps aussi, M. Lodge a montré que les batteries déchargées à travers un conducteur par l'intermédiaire inévitable d'une étincelle, communiquaient à ce conducteur la propriété paradoxale de donner pendant la décharge des étincelles plus longues avec les corps voisins, que lorsque la décharge ne se produit pas. On admet en général que la longueur maxima de l'étincelle qui peut prendre naissance entre deux conducteurs dépend uniquement de la plus grande différence de potentiel que peuvent prendre ces deux corps. Or, lord Kelvin a montré que, lorsqu'un condensateur se décharge à travers une self-induction sans capacité, l'équilibre est rétabli par une série d'oscillations amorties. Donc il semble, au premier abord, que la différence de potentiel entre un point du circuit et un conducteur voisin, doit être plus petite, en tout moment de la décharge, qu'avant le commencement de celle-ci. Ceci paraît incompatible avec le fait observé d'abord par M. Lodge, et après lui, par de nombreux auteurs.

Enfin, Hertz a observé un fait curieux qui a été le point de départ de ses merveilleuses expériences sur les ondulations électriques et sur les actions photo-électriques. Quand une bobine de Ruhmkorff A (fig. 1), est en communication avec un excitateur à étincelles B, et avec un point C d'un cadre contenant une interruption D, on peut trouver un écartement des deux boules de D tel qu'une étincelle y jaillisse toutes les fois qu'une étincelle jaillit en B. Jamais l'étincelle ne jaillit en D, quand elle ne jaillit pas en B.

Nous voyons ici une série de phénomènes complexes qui sont dus à la présence de l'étincelle électrique, et qui ne sont pas compatibles avec la théorie admise. Examinons celle-ci de plus près. Dans les idées actuelles, l'étincelle éclatant soudain dans le diélectrique, fraye un passage conducteur à la décharge des capacités voisines, dans un temps inappréciable par rapport à la période propre d'oscillation de ces capacités. De la

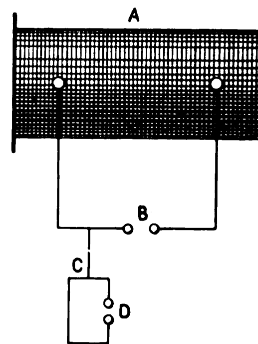


Fig. 1. — A, bobine de Ruhmkorff; B, excitateur à étincelles; D, interruption où jaillit l'étincelle secondaire.

sorte, les charges respectives se trouvent dans une situation analogue à celle d'un pendule abandonné soudain dans une position non verticale. Ces charges se mettent alors à osciller, suivant la formule de Thomson, dans le cas où elle s'applique, d'une manière plus ou moins analogue dans le cas général. Les calculs se font toujours en supposant que l'étincelle est un conducteur de résistance négligeable.

Nous voyons figurer en première ligne dans cette explication la notion de charge électrique des capacités métalliques. Les idées les plus modernes ne s'accordent pas avec cette manière de voir. L'œuvre de Maxwell tout entière, et, depuis celle-ci, les travaux de M. Poynting, et le commentaire qu'en a donné M. Vaschy (*Comptes Rendus*, 14 janv. 1895), démontrent d'une manière évidente que, même

dans le cas de courant continu, l'énergie est transmise par des déformations des diélectriques ambiants, et que le conducteur n'est qu'un lieu de consommation où l'énergie est transformée en chaleur. Dans cette manière de voir, la quantité d'électricité n'est plus qu'une intégrale abstraite, sans signification physique précise. Cette idée était bien, semble-t-il, fondamentale pour Hertz. Il semble donc peu logique de faire jouer à cette quantité abstraite, le rôle d'une matière élastique. Cela a été fait par une généralisation de ce qui se passe dans un circuit fermé, excité par induction. Dans ce cas, nous savons que tout se passe comme s'il existait une matière douée de vitesse et parcourant les conducteurs. C'est là une des explications dynamiques possibles des phénomènes, dans le cas qui nous occupe. Mais ce n'est pas la seule, car l'existence même de cette solution prouve qu'il y en a une infinité. (Poincaré. — *Électricité et optique.* — T. I. Introduction). Quand les circuits sont ouverts, ou quand une étincelle jaillit, les conditions peuvent être changées assez pour que l'assimilation précédente ne soit plus admissible.

Si au contraire, nous supposons que le milieu diélectrique est le siège des phénomènes électriques, nous devons penser que l'étincelle est le lieu où se produit une certaine perturbation. Cette perturbation se propagera alors par ondes dans tout le diélectrique ambiant, et en particulier le long des fils. Mais dans ce cas, nous ne pouvons plus considérer l'étincelle comme un simple conducteur, et les calculs habituels ne s'appliquent plus.

Si je crois, pour les raisons ci-dessus, pouvoir mettre en doute l'exactitude absolue de la formule de Thomson, je m'appuierai cependant sur son résultat, peut-être le plus important, c'est-à-dire l'existence d'oscillations amorties de potentiel dans le retour à l'équilibre d'un système soumis à une impulsion électrique brusque, lorsque la résistance spécifique des conducteurs n'est pas extrêmement grande L'expérience est venue en effet confirmer pleinement ces vues. Bernstein et M. Mouton les ont vérifiées dans le cas de la bobine de Ruhmkorff. Ils ont montré que si on excite celle-ci par une seule impulsion du primaire les deux pôles du secondaire sont le siège d'oscillations de potentiel rapides et amorties.

Sur les condensateurs chargés, puis déchargés dans un excitateur à étincelles, Feddersen a montré que la loi de succession des étincelles vérifiait à peu près la formule de Thomson. Il a employé des circuits dont la période était environ 10^{-4} secondes. La généralité de ces oscillations a été d'ailleurs absolument montrée par les expériences sur l'excitateur à deux branches de Hertz, et sur l'excitateur sphérique de Lodge. Nous admettrons donc comme expérimental, le principe suivant : *Toutes les fois qu'une perturbation brusque naît en un point et que la résistance spécifique du circuit n'est pas trop grande, l'équilibre est rétabli par une série d'oscillations de potentiel amorties.*

II

Le premier fait que je vais établir est le suivant : *Quand une étincelle éclate dans le circuit secondaire d'une bobine de Ruhmkorff, celui-ci est le siège d'oscillations plus rapides que celles qu'il prend lorsqu'il est ouvert et excité par son primaire.*

J'ai étudié ce qui se passe en un point voisin de l'étincelle par deux procédés ; au moyen de l'illumination des tubes à vide isolés placés unipolairement en contact avec le circuit comme le montre la figure 2, et au moyen de l'électromètre. J'ai employé une puissante bobine de Ruhmkorff, pouvant donner quarante centimètres d'étincelle entre deux sphères de 4 cm de diamètre, et un tube de Salet à acide carbonique, de 2 mètres de long et de 4 cm de diamètre, habilement construit, ainsi que ceux dont je parlerai plus loin, par M. Seguy. Les expériences sont faciles à interpréter dans ce cas, et permettent de démêler ce qui se passe quand on dispose de moyens moins puissants.

Les phénomènes peuvent en gros se résu-

mer ainsi : Quand la bobine fonctionne à circuit ouvert, le tube unipolaire s'illumine beaucoup à l'extrémité en contact avec les bobines, moins à l'extrémité éloignée.

Le volume lumineux a la forme d'un cône dont la pointe est près de l'extrémité libre du tube. Quand l'étincelle éclate, le tube se remplit tout entier de lumière d'un éclat beaucoup plus vif que précédemment. L'illumination d'un tube dépend certainement de la différence de potentiel à ses extrémités. L'illumination va d'autant plus loin dans le tube et

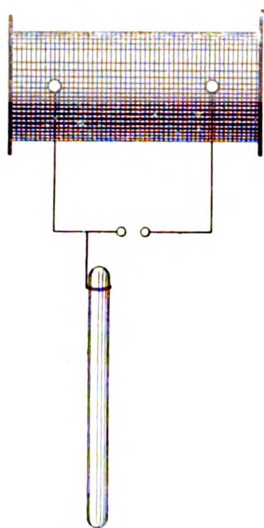


Fig. 2.

est d'autant plus brillante que cette différence de potentiel est plus élevée. L'éclair qui parcourt le tube au moment de l'étincelle est donc l'indice d'un potentiel beaucoup plus élevé à son extrémité, au moment où il prend naissance.

Quand l'étincelle ne jaillit pas, les extrémités du secondaire d'une bobine sont soumises, d'après les expériences de M. Mouton à un potentiel oscillatoire amorti, et l'illumination du tube nous donne une idée de sa valeur maxima. Quand l'étincelle jaillit, quelle que soit l'idée qu'on s'en fasse, elle cause dans le système un ébranlement brusque, elle donnera par conséquent dans le système des oscillations amorties. L'expérience du tube nous montre que cette onde amortie, qui prend naissance au moment de l'étincelle, a un potentiel maximum plus grand que les oscillations propres de la bobine, quand son circuit est ouvert. Les phénomènes restent les mêmes quand, au lieu d'écarter les boules de l'excitateur, de façon à avoir des étincelles rares, on les rapproche de manière à avoir des étincelles jaillissant sans interruption appréciable.

Mais une oscillation est déterminée par deux quantités principales, son maximum et sa période. Nous avons déjà une notion sur le maximum, cherchons si nous ne pourrons, au moyen d'un autre instrument, obtenir une deuxième relation fonction de la période et du maximum. En y transportant notre notion relative au maximum, nous pourrons en tirer une notion sur la période des oscillations.

Pour obtenir cette deuxième relation, j'ai employé l'électromètre sous une forme idiostatique. J'ai pris une forme analogue à celle qu'a employée M. Bjerknes, en réduisant l'instrument à deux quadrants seulement. Ceux-ci étaient mis en communication métallique ensemble, et avec le point à étudier. L'aiguille mobile est mise à terre. J'ai essayé d'abord de la laisser isolée, mais j'ai observé des élongations résiduelles dues probablement à des charges par convection, analogues à celles qu'a signalées il y a quelques années M. Hurmuzescu. Il y a d'ailleurs là un phénomène digne d'étude, car les conditions sont plus complexes que dans le cas où était placé M. Hurmuzescu. Cette perturbation est éliminée quand on met l'aiguille à terre.

Dans ces conditions, on mesure le carré moyen du potentiel au point mis en communication avec les conducteurs A. Les résultats ont été les suivants.

Il est impossible de mesurer une élongation avec exactitude, car, à cause des irrégularités de l'interrupteur, l'aiguille oscille toujours d'une manière extrêmement considérable, mais on peut cependant se rendre compte de la position moyenne de la tache lumineuse. On peut donc seulement se rendre compte grossièrement des grandeurs relatives du carré

moyen du potentiel dans les divers cas. On observe que lorsque le circuit est ouvert, le carré moyen du potentiel est beaucoup plus élevé que dans le cas où les étincelles jaillissent d'une manière tout à fait régulière à chaque interruption du circuit. Donc, dans ce dernier cas, par l'expérience précédente et celle-ci, le potentiel maximum est beaucoup plus élevé, et le carré moyen du potentiel beaucoup moins élevé qu'à circuit ouvert. Interprétons ces deux résultats.

A circuit ouvert et à circuit fermé par une étincelle, nous avons forcément en chaque point du circuit des potentiels oscillatoires amortis, et à chaque excitation de l'interrupteur, nous avons un train d'ondes, qui s'éteint avant l'excitation suivante.

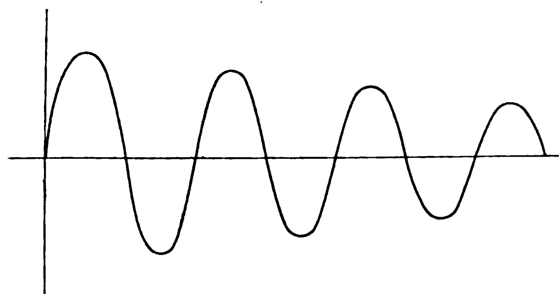


Fig. 3.

A circuit ouvert, le potentiel de chaque train d'ondes sera représenté en fonction du temps par une courbe analogue à celle de la figure 3. Ce que nous mesurons, c'est une quantité proportionnelle à la quantité $\int v^2 dt$ relative à chaque train d'ondes ainsi constitué, v représentant le potentiel et t le temps.

Quand les étincelles jaillissent régulièrement à chaque interruption, nous devons avoir à chaque interruption un train d'ondes à peu près constant et nous mesurons encore une quantité proportionnelle à la quantité $\int v^2 dt$ relative à chaque train d'ondes, le coefficient de proportionnalité étant le même que dans le cas précédent. La courbe est assujettie à passer par un point A très élevé, d'après la première expérience. Pour que l'intégrale $\int v^2 dt$ soit beaucoup plus petite pour chaque train d'ondes, la seule inspection de la figure 4 montre qu'il est de toute nécessité que les ondes soient comme celles de cette figure beaucoup plus courtes et beaucoup plus rapidement amorties que celles de la figure 3.

Les phénomènes ne sont pas certainement aussi simples que cela. Une partie de l'énergie est consommée en chaleur, en lumière, et en ondes sonores dans l'étincelle. Enfin il est bien probable, par analogie avec les autres phénomènes que nous connaissons, que l'énergie n'est pas entièrement transformée à l'étincelle, et qu'une partie donne encore des ondulations de même période que celles de la figure 4, mais à ordonnées beaucoup moindres. Ceci ne peut que confirmer encore mon raisonnement, en exigeant que les oscillations assujetties à passer par A soient encore plus rapides que si la transformation était complète.

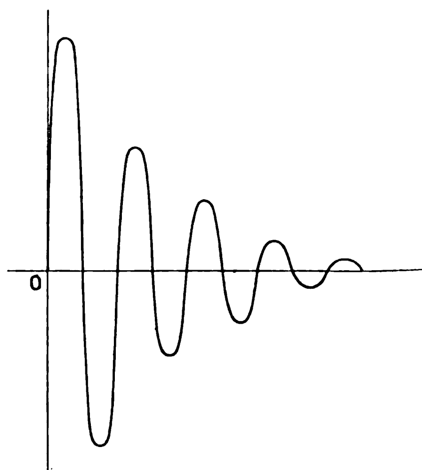


Fig. 4.

L'ensemble des deux expériences et de la discussion qui précède me semble établir d'une manière tout à fait indiscutable l'énoncé placé en tête de ce paragraphe.

III

Je vais montrer maintenant que *la condition nécessaire et suffisante pour que des oscillations rapides se produisent est que l'étincelle soit disruptive.*

Quand on emploie la grosse bobine dont j'ai

parlé avec 12 accumulateurs sur le primaire, les étincelles commencent à éclater entre deux sphères de 4 cm. lorsqu'elles sont à environ 40 cm. l'une de l'autre. Elles sont tout à fait régulières quand les sphères sont à 35 c. environ; lorsque la distance descend au-dessous de 15 cm., l'étincelle se borde d'une flamme jaune indiquant la formation d'un commencement d'arc; à partir de 8 à 10 cm., il se forme un véritable arc, accompagné de temps en temps d'une étincelle jaillissant en dehors de l'arc. On évite parfois ces dernières étincelles, en plaçant les boules l'une au-dessus de l'autre.

Dans la première période, le tube prend un vif éclat à chaque étincelle. Dans la deuxième, l'éclat du tube est presque aussi grand que dans la première. Mais il semble continu quand on ne l'examine pas au miroir tournant. Quand on rapproche les sphères, l'éclat des tubes diminue, surtout quand on arrive à la troisième période, et disparaît enfin à peu près complètement au moment où l'arc s'établit d'une manière continue. Chaque fois qu'à ce dernier vient se superposer une étincelle disruptive, le tube prend un vif éclat.

Si maintenant nous diminuons l'énergie utilisée en prenant 3 accumulateurs au lieu de 12, la volatilisation du métal des sphères ne pourra plus se produire, et l'arc sera remplacé par des étincelles, à peu près régulières dans les conditions où nous sommes placés. Le tube prend alors une illumination considérable; l'arc a été remplacé par une étincelle disruptive. L'étude électrométrique du phénomène montre qu'il est complexe, car le carré moyen du potentiel est plus élevé à la borne dans le cas des étincelles données par 3 accumulateurs que dans le cas de l'arc. Ceci n'a rien qui doive nous étonner *à priori*, car le potentiel et la vitesse de l'électricité ont des variations inverses (Poincaré. — *Oscillations électriques*, p. 122 et 123). L'arc étant un conducteur, la vitesse de l'électricité doit y être notable, alors qu'elle est nulle aux bornes quand il n'y a pas d'étincelles, et faible pour les étincelles purement disruptives. Dans les conditions précédentes, la perte de potentiel par conduction de l'arc est plus grande que la perte par diminution de l'énergie dans le cas des étincelles.

Mais si nous rapprochons l'une de l'autre les deux sphères de l'excitateur, le carré moyen du potentiel baisse, et il arrive un moment où il a la même valeur que dans la première expérience avec l'arc. On voit alors que le tube continue à être notablement lumineux, et l'étincelle à être franchement disruptive. Si on continue à rapprocher les boules, le tube diminue d'éclat, et il devient sombre au moment où l'étincelle se transforme de nouveau en un véritable arc, ce qui a lieu pour un écartement d'un millimètre ou deux.

Toutes les causes qui changent l'arc en une véritable étincelle disruptive produisent le même effet. Quand on souffle l'arc de la bobine, il se transforme en une gerbe d'étincelles bruyantes. A ce moment, le tube s'illumine, l'élongation de l'électromètre augmente aussi. L'expérience peut être rendue concluante en notant l'élongation de l'électromètre quand l'arc jaillit et que le tube s'éteint. On diminue la déviation en diminuant l'arc, puis on souffle doucement ce nouvel arc très petit. On peut s'arranger pour que la déviation de l'électromètre soit la même avec l'arc soufflé qu'avec l'arc précédent non soufflé. L'illumination du tube est très belle dans le second cas.

Cette expérience est délicate à cause des perturbations introduites dans la marche de l'électromètre par les étincelles qui viennent souvent, dans le premier cas, se superposer à l'arc.

Enfin, les effets précédents sont produits, quelles que soient les conditions où l'étincelle jaillit. Que les étincelles jaillissent, entre sphères, entre pointes, ou de pointe à plan, les effets sont les mêmes. Dans ces dernières conditions, un effet remarquable se produit. L'illumination du tube est aussi intense, que la pointe soit positive ou qu'elle soit négative, quand on prend dans les deux cas la plus longue étincelle possible, et cependant dans le

second cas l'étincelle est bien plus longue que dans le premier. Cette expérience nous montre que les effets ne sont pas dus à la longueur même de l'étincelle, mais à l'énergie dépensée pour vaincre la résistance du diélectrique.

Enfin les étincelles de bobine de Ruhmkorff ne sont pas les seules pour lesquelles se produisent les effets indiqués. Quand on met le tube en communication unipolaire avec l'un des pôles d'une bonne machine statique, on voit le tube s'illuminer toutes les fois qu'une étincelle jaillit dans le circuit. Cette expérience devait réussir si les effets sont réellement dus à la rupture du diélectrique. Mais elle est sujette à une objection grave. Dans le cas qui nous occupe, en effet, les capacités chargées sont très faibles, les conducteurs n'ont pas de self-induction appréciable, la décharge oscillatoire doit donc être de période extrêmement courte, et nous ne pouvons dire si les effets sont dus à l'étincelle elle-même ou aux oscillations propres des conducteurs. Cependant, en mettant une bobine d'induction entière en série avec les conducteurs de la machine B (fig. 5), on obtient encore aux bornes de l'excitateur des effets analogues, quoique la période d'oscillation soit d'un autre ordre de grandeur. Si on règle le débit de la machine statique de manière à avoir la même étincelle avec ou sans la bobine d'induction, et si on place le tube immédiatement auprès du point où jaillit l'étincelle, on obtient le même éclat du tube ou à peu près, dans les deux cas. Il semble donc bien que, dans ce cas encore, on doit penser que les phénomènes d'illumination produits lors de l'étincelle disruptive sont liés à l'existence d'oscillations rapides dues à la rupture même du diélectrique, et non pas à l'oscillation propre des conducteurs voisins.

Nous venons de voir que toutes les fois qu'une étincelle disruptive jaillit dans l'air, elle est accompagnée de phénomènes d'oscillation rapide. Il nous reste à voir ce qui se produit avec les diélectriques autres que l'air.

Dans les liquides diélectriques, les phénomènes sont analogues à ceux qui se passent dans l'air; j'ai expérimenté avec diverses huiles minérales, et j'ai observé seulement le rapprochement considérable des diverses phases de l'étincelle, la transformation en arc se fait plus facilement que dans l'air. La distance explosive est d'ailleurs infiniment plus petite. Pour arriver à régler cette distance, j'ai employé un excitateur analogue à celui de MM. Sarasin

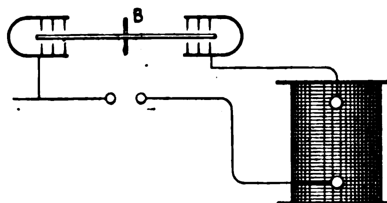


Fig. 5.

et de la Rive, mais avec un long manche d'ébonite à l'une des tiges métalliques. La figure 6 montre la coupe de cet excitateur. Le récipient est un seau en verre dont les parois sont percées de trous où entrent des manchons de laiton. Les tiges métalliques y glissent à frottement demi dur. Les manchons portent un épaulement en dedans, une vis et un écrou en dehors. Le joint est maintenu étanche par les bouchons A sur lesquels on donne le serrage au moyen de l'écrou.

Je n'ai pu, avec les pétroles, faire des expé-

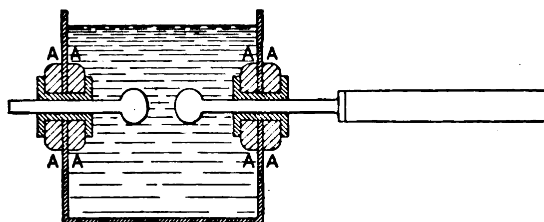


Fig. 6.

riences aussi variées que dans l'air, j'ai seulement vu l'analogie des phénomènes.

Avec les diélectriques solides, j'ai pu au contraire varier les expériences, j'ai opéré avec le verre, la gélatine et le carton.

Dans ces expériences, j'ai toujours commencé par former un arc pour interposer ensuite dans l'arc le diélectrique à étudier.

Avec les verres à vitre que j'ai eus à ma

disposition, j'ai observé deux sortes de phénomènes. En opérant avec une lame assez épaisse, le tube prenait le même éclat que si les boules avaient été écartées assez pour que les étincelles ne jaillissent pas, mais cet éclat est inférieur à celui que prend le tube quand l'étincelle jaillit. L'électromètre montre que le carré moyen du potentiel est seulement un peu inférieur à ce qu'il est avec les boules écartées. J'attribue cette diminution du potentiel, ainsi que l'impossibilité d'avoir des effets disruptifs avec ce verre, dont j'ai parlé, à sa conductibilité relativement élevée, car il est aisé de voir qu'il se laisse traverser par de vraies aigrettes lumineuses. J'ai opéré ensuite sur des épaisseurs plus faibles de verre, et j'ai fini par obtenir des trous, sans augmentation de l'éclat du tube. D'ailleurs l'oreille ne perçoit aucun bruit notable au moment de la production de ces trous, et leur examen montre qu'ils sont produits par fusion. Il n'y a pas, par conséquent, rupture brusque, étincelle disruptive, et les phénomènes ne se produisent pas.

Avec la gélatine en feuilles, les effets sont analogues.

Avec le carton, on entend un bruit sec chaque fois que le carton est percé, et on voit le tube prendre un éclat incomparablement plus grand qu'avec l'étincelle d'air. La perforation d'une seule feuille de papier produit déjà un bel effet, mais les effets deviennent extrêmement intenses avec la forte bobine de Ruhmkorff dont je dispose et quatre ou cinq épaisseurs de fort bristol.

Il est de toute nécessité, pour obtenir de beaux phénomènes, d'opérer avec du carton ou du papier bien secs. Quand ils sont humides, il y a conduction, échauffement, puis combustion, et les phénomènes d'illumination sont très affaiblis. Dans ce dernier cas encore, il n'y a pas rupture brusque du diélectrique. Ce fait est à rapprocher des précédents, et nous pouvons énoncer avec une grande probabilité le fait indiqué au commencement de ce paragraphe, que la production des oscillations rapides au moment de l'étincelle est due à la rupture brusque du diélectrique.

IV

L'étincelle est le centre d'excitation d'où partent les oscillations rapides qui sont produites lors de la rupture du diélectrique.

Nous avons admis jusqu'ici uniquement que lors de l'impulsion brusque donnée par l'étincelle électrique, il se produisait des oscillations amorties, sans insister sur la partie du circuit qui joue le rôle de centre d'ébranlement. Si on admet les principes sur lesquels est fondée la formule de Thomson, on doit s'attendre à trouver l'oscillation maxima de potentiel là où la vitesse de l'électricité est nulle, c'est-à-dire à l'extrémité du conducteur. Je vais montrer

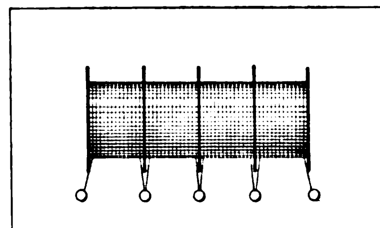


Fig. 7.

que, dans le cas général, il n'en est pas ainsi. Je vais m'appuyer pour cela sur quelques propriétés des circuits présentant de la self-induction. J'ai pu étudier ces propriétés grâce à une petite bobine d'induction construite autrefois sur les indications de Foucault, et que possède le Laboratoire de physique de la Faculté de Médecine. Elle est cloisonnée en quatre sections, et les points de réunion des bobines deux à deux, ainsi que les extrémités du secondaire sont reliées à des bornes isolées (fig. 7). Cette bobine a été construite ainsi autrefois pour l'usage médical, de manière à pouvoir employer une différence de potentiel plus ou moins grande. On a ainsi cinq points accessibles, le milieu du secondaire, deux points intermédiaires, et les deux extrémités. Le secondaire est d'ailleurs symétrique à tous les points de vue par rapport à son milieu. M. Mouton, dans le travail déjà cité, a montré que pour les bobines ainsi construites, les

deux pôles extrêmes étaient toujours à des potentiels égaux et de signes contraires quand on excite la bobine par son primaire. D'après cela, et par raison de symétrie, on doit penser que le milieu est constamment au potentiel zéro, que c'est un nœud de vibration du potentiel, un ventre de ce qu'on est convenu d'appeler la vitesse de l'électricité. J'ai vérifié ce fait par deux méthodes. L'action physiologique quand on touche la borne du centre avec un doigt est nulle ; elle est notable aux bornes intermédiaires, assez forte aux extrêmes. Avec les petits tubes à vide qu'on emploie pour l'analyse spectrale, l'illumination est à peu près nulle au centre, certaine aux bornes intermédiaires, notable aux bornes extrêmes. Il suffit de mettre une bouteille de Leyde en contact avec un des pôles pour faire apparaître la lumière à la borne centrale. En la prenant de capacité convenable, j'ai pu déplacer le nœud du potentiel jusqu'à la borne intermédiaire située du côté de la bouteille. Toute dissymétrie dans le circuit change donc la répartition des potentiels le long du fil.

Ceci est à rapprocher du fait démontré par MM. Sarasin et de la Rive, que le milieu d'un résonateur de Hertz est un nœud.

On peut exciter d'une autre manière le secondaire de la bobine, en le mettant en série avec celui d'une bobine d'induction active qu'on excite par son primaire. Il semble au premier abord que, dans ce cas, il doive y avoir un flux d'électricité constant en tous les points du circuit. Il n'en est rien. L'examen par la méthode physiologique et par celle du tube à vide montre que le secondaire de la bobine de Foucault présente exactement les mêmes propriétés que quand il est excité par son primaire. Ici encore nous avons une excitation symétrique et un circuit symétrique, et les propriétés du circuit sont encore symétriques.

Cette expérience me semble pouvoir s'interpréter de la façon suivante, que je donne d'ailleurs sous toute réserve. Quand une onde émise par la bobine excitatrice vient, en se propageant le long du fil de jonction de faible impédance, rencontrer le pôle de la seconde bobine, point où le circuit prend une impédance considérable, l'onde subit en ce point une modification brusque. L'expérience montre que ce point deviendra un nœud de flux, ventre de potentiel, comme la surface de séparation de deux milieux dans le cas de l'onde lumineuse, et sera le centre d'ébranlement d'une onde qui va se propager dans la bobine excitée. Deux ébranlements issus de chacun des pôles vont se propager en s'amortissant, le long de la bobine, de là les phénomènes observés. Des phénomènes analogues se produisent probablement dans les installations industrielles de transformateurs, c'est pour cela qu'il m'a semblé utile d'insister sur ce fait.

La propagation avec amortissement le long des conducteurs d'une ondulation issue d'un point où l'impédance change brusquement, a été déjà vérifiée par M. Colson, qui a opéré au moyen d'une ficelle mouillée, et du téléphone.

Dans ce cas, la conductibilité mise en jeu était électrolytique ; il ne serait donc pas permis de l'étendre aux conducteurs métalliques. Mais M. Blondlot a vérifié ce fait pour les circuits métalliques et les ondulations Hertziennes en employant un fil extrêmement long, et M. Perot, dans ses expériences, s'est servi de cette propriété. N'ayant pas d'idée sur l'ordre de grandeur du phénomène, il y avait donc lieu de vérifier ce fait directement pour le circuit que j'avais à ma disposition. Il m'a suffi pour cela d'exciter la bobine de Foucault, en mettant son secondaire unipolairement en contact avec un pôle d'une bobine excitée par son primaire. Avec cette disposition, quand on explore les diverses bornes de la bobine avec le tube unipolaire isolé, on voit que l'illumination décroit d'une manière régulière à partir de la borne en communication avec la bobine active. Je n'ai pu étudier tout à fait en détail ce qui se passe auprès de l'extrémité libre, à cause de la construction même de la bobine ; peut-être y a-t-il des concamérations analogues à celles qu'a signalées M. Colson, je ne peux rien dire à ce sujet. Mais le gros du phé-

nomène suffit pour arriver au but que je me propose.

Nous pouvons donc affirmer le fait suivant. *Toutes les fois qu'une bobine cloisonnée symétrique reçoit une excitation symétrique, son point milieu est un nœud de potentiel et les potentiels maxima croissent de part et d'autre à partir du centre. Toutes les fois qu'une pareille bobine reçoit des impulsions dissymétriques, il se propage le long du fil une ondulation qui s'amortit d'autant plus qu'on s'éloigne davantage du pôle excité.*

Nous pouvons donc, avec une certitude très grande, déduire le point où se produit un ébranlement de la connaissance du sens dans lequel se fait l'amortissement du potentiel le long de la bobine.

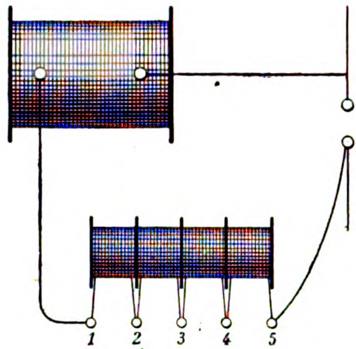


Fig. 8.

Reprenons alors la disposition de la dernière expérience, mais réunissons les deux pôles libres des deux bobines à un excitateur à étincelles.

Tant que l'étincelle ne jaillit pas, nous observons les phénomènes déjà décrits. Quand elle jaillit, les phénomènes sont complexes, et dépendent des conditions du phénomène. Si on fait jaillir l'étincelle d'une manière continue on peut arriver dans des conditions convenables à renverser les phénomènes, à voir la décroissance d'illumination s'effectuer dans le sens 5, 4, 3, 2, 1, (fig. 8) au lieu de 1, 2, 3, 4, 5. Le phénomène est difficile à montrer sous cette forme nette, car il y a deux excitations contraires en présence. D'une part l'excitation venant de la bobine elle-même, d'autre part celle qui vient de l'étincelle. Mais cette difficulté n'infirme pas mes conclusions pour plusieurs raisons.

D'abord, si l'étincelle ne jouait que le rôle généralement admis, d'un conducteur de résistance peu considérable brusquement introduit entre les sphères de l'excitateur, la bobine serait soumise à une action analogue à celle qu'elle subit à circuit fermé, et nous devrions trouver trace d'un minimum de potentiel en un de ses points, ce qui ne se produit pas. De plus, si au lieu de considérer l'éclat absolu du tube, nous considérons la différence entre son éclat à circuit ouvert et son éclat au moment de l'étincelle, nous voyons de la façon la plus nette que cette différence décroît dans le sens 5, 4, 3, 2, 1. D'ailleurs nous verrons dans la suite que lorsque l'étincelle jaillit, non seulement l'éclat du tube est modifié, mais encore son type d'illumination. La décroissance des effets spéciaux à l'étincelle est toujours très nette dans le sens 5, 4, 3, 2, 1, même quand la luminosité totale semble augmenter en sens inverse.

Enfin, le phénomène peut s'épurer de toute cause de perturbation, en employant comme excitatrice, au lieu d'une bobine d'induction, une machine statique. Dans ces conditions, le tube ne s'illumine pas, ou du moins s'illumine à peine quand l'étincelle ne jaillit pas. Il prend un très bel éclat quand l'étincelle jaillit, et qu'il est en 5 ; son éclat diminue d'une manière considérable dans le sens indiqué, 5, 4, 3, 2, 1.

(*A suivre.*) A. BROCA.

LA THÉORIE ÉLECTROMAGNÉTIQUE
DE LA LUMIÈRE
ET L'ABSORPTION CRISTALLINE [1]

II

Une des remarques les plus intéressantes de Maxwell est que les corps conducteurs de

---

[1] Voir l'*Eclairage Electrique* du 3 août, p. 193.

l'électricité sont opaques, les corps diélétriques sont transparents. Cette règle souffre des exceptions, mais elle a néanmoins une certaine généralité.

Les expériences de Hertz et de ses successeurs ont prouvé qu'une onde électromagnétique était arrêtée par une plaque métallique, ou d'une façon générale, par une plaque conductrice. L'absorption d'énergie n'est pas complète, si la lame est très mince; avec des corps médiocrement conducteurs, elle est d'autant plus grande que la conductibilité est plus grande.

La conductibilité a pour effet de réduire les vibrations électriques. Le problème de la réflexion de la lumière sur un corps absorbant, le problème de la réflexion métallique, est analogue au problème de la réflexion d'une onde électromagnétique sur un conducteur.

Quelques difficultés qu'on doive rencontrer dans le détail, nous voyons ainsi la théorie électromagnétique de l'absorption attribuer un rôle spécial et nettement différencié à la force électrique; il n'y a rien qui joue par rapport à la force magnétique le rôle d'une substance conductrice. Or, dans l'étude optique de l'absorption nous allons trouver des raisons nouvelles d'isoler, pour lui attribuer un rôle prépondérant, un seul des vecteurs qu'introduisent les théories élastiques de la lumière.

Fresnel avait déjà tiré un argument intéressant en faveur de la perpendicularité de la vibration lumineuse au plan de polarisation, de l'étude de la tourmaline. La tourmaline est en cristal rhomboédrique, par conséquent uniaxe. Une lame de quelque épaisseur, taillée perpendiculairement à l'axe optique, est absolument opaque : une épaisseur de 1 millimètre suffit pour absorber toute lumière sensible. Quelle que soit la théorie particulière admise (Fresnel ou Mac Cullagh), la vibration est *transversale*, c'est-à-dire perpendiculaire à l'axe optique; donc les vibrations perpendiculaires à l'axe optique sont très rapidement absorbées par la traversée d'une lame de tourmaline.

Une lame taillée parallèlement à l'axe optique est opaque pour la lumière polarisée dans le plan qui contient l'axe optique, transparente pour la lumière polarisée dans le plan perpendiculaire. Elle arrête le rayon ordinaire et laisse passer le rayon extraordinaire. C'est même la raison qui fait employer les tourmalines parallèles comme polariseurs ou analyseurs. N'est-il pas naturel d'admettre que la vibration ordinaire, qui est absorbée, est perpendiculaire à l'axe optique, la vibration extraordinaire lui étant parallèle. On aurait ce résultat intéressant, que les vibrations perpendiculaires à l'axe optique sont toujours absorbées de la même façon, quelle que soit l'onde à laquelle elles appartiennent.

Cette règle énoncée par Fresnel, a été généralisée depuis, par M. Becquerel. L'absorption d'une onde qui transmet une vibration donnée dans un milieu cristallin ne dépend que de la direction de la vibration et non de l'orientation de l'onde. Lorsqu'une vibration peut appartenir à plusieurs ondes, ce qui a lieu quand la vibration est dirigée suivant un des axes de symétrie optiques, l'absorption est la même pour ces différentes ondes.

La théorie électromagnétique va nous permettre de préciser dans quelles limites cette règle est applicable, et de la justifier dans ces limites.

Dans ce qui précède, il s'agit de la *vibration lumineuse* perpendiculaire au plan de polarisation, c'est-à-dire de la vibration de Sarrau-Glazebrook; dans la théorie électromagnétique, il s'agit de la vibration électrique. Il est naturel que ce qui influe sur l'absorption de l'onde, ce soit uniquement le coefficient de conductibilité dans la direction même de la vibration électrique, c'est-à-dire dans la direction du courant.

III

Un phénomène qui a frappé depuis longtemps les physiciens qui se sont occupés d'optique cristalline est le *polychroïsme* ou *pléochroïsme*. Certains cristaux naturels présentent des colorations différentes quand ils sont traversés par la lumière dans les directions

différentes. La *cordiérite* ou *dichroïte*, par exemple, donne dans les trois directions perpendiculaires aux trois plans de symétrie une couleur bleue, ou blanc jaunâtre, ou blanc grisâtre. C'est que l'absorption varie, comme dans tous les milieux colorés, avec la longueur d'onde, et, pour une radiation donnée, l'absorption n'est pas la même dans diverses directions.

La théorie de l'absorption dans les milieux anisotropes, entrevue par Grailich, a été indiquée par M. Mallard [1].

Dans les milieux isotropes, l'intensité I de la lumière qui a traversé une épaisseur z du milieu est liée à l'intensité I_0 par une formule

$$I = I_0 e^{-\alpha z}, \tag{4}$$

ou α est le coefficient d'absorption. M. Mallard étend cette formule au cas où la lumière traverse une lame cristalline d'épaisseur z, seulement il admet que α dépendra de l'orientation de la lame, ou plus exactement de la direction de la vibration transmise.

De l'équation (4) on tire

$$dI = -\alpha I_0 dz.$$

I dans la théorie élastique, est la force vive moyenne du mouvement vibratoire, et dI est la force vive absorbée pendant que la vibration, supposée rectiligne, avance dans la lame d'une longueur dz, c'est-à-dire pendant le temps $\Delta t = \frac{dz}{v}$, si v est la vitesse de propagation de l'onde qui propage la vibration.

La force vive disparue, dit M. Mallard, représente le travail d'une force résistante O F, de direction évidemment déterminée par la direction de la vibration OV. La grandeur de cette force est proportionnelle non à l'élongation l, mais à la vitesse $\frac{dl}{dt}$: elle est $f\frac{dl}{dt}$, f étant un coefficient indépendant du temps, mais dépendant de la direction. Si l'on prend OV $= \frac{dl}{dt}$ et OF $= f$, le point F décrit un ellipsoïde quand V décrit une sphère. La force vive absorbée par le travail de la force $f\frac{dl}{dt}$, pour une variation dl de l'élongation, est

$$f\frac{dl}{dt}dl \cos U = f.\left(\frac{dl}{dt}\right)^2 \cos U\, dt,$$

U étant l'angle VOF.

Pendant un temps Δt, très petit, mais grand par rapport à la durée d'une période, on a pour le travail effectué par cette force :

$$fu^2 \cos U\Delta t,$$

u^2 étant le carré moyen de la vitesse vibratoire. La force vive absorbée étant d'ailleurs.

$$\alpha I_0 dz = \alpha m u^2 dz = \alpha m u^2 v \Delta t,$$

on a :

$$\alpha m u^2 v \Delta t = fu^2 \cos U\Delta t;$$

d'où

$$\alpha = \frac{f}{mv} \cos U.$$

Si l'on porte sur O F une longueur ρ_0 telle que

$$\rho_0 = \frac{f}{mv}.$$

le lieu des points ainsi déterminés est un ellipsoïde, que M. Mallard appelle *ellipsoïde d'absorption*. En portant sur OV une longueur

$$\rho'_0 = \frac{1}{\sqrt{\rho_0 \cos U}} = \frac{1}{\sqrt{\alpha}}.$$

on a un *ellipsoïde inverse d'absorption*.

Si α_1, β_1, γ_1 sont les trois coefficients d'absorption relatifs aux trois axes de ces deux ellipsoïdes on a d'une façon générale, pour une vibration dont les cosinus directeurs sont λ, μ, ν.

$$\alpha = \alpha_1\lambda^2 + \beta_1\mu^2 + \gamma_1\nu^2,$$

et la loi de l'absorption est

$$I = I_0 e^{-(\alpha_1\lambda^2 + \beta_1\mu^2 + \gamma_1\nu^2)z}.$$

Dans cette théorie, dite théorie de *l'ellipsoïde d'absorption*, on pourra donc toujours représenter les phénomènes d'absorption par une réduction de l'intensité qui est simplement une fonction exponentielle de l'épaisseur.

Remarquons que le raisonnement de M. Mal-

[1] MALLARD. *Cristallographie*, t. II, p. 352.

lard ne prouve pas du tout que l'absorption d'une onde ne dépende que de la direction de la vibration. Il est naturel d'admettre que f et U qui entrent dans l'expression de α ne dépendent que de la direction de vibration. Seulement, si la vibration est suivant un axe d'élasticité optique, elle peut correspondre à une infinité d'ondes qui ont toutes la même vitesse v; au vecteur qui représente la vitesse de vibration correspond dans ce cas un vecteur ρ_0 unique et bien déterminé.

La théorie électromagnétique introduit la considération d'un *ellipsoïde de conductibilité électrique;* l'action de la conductibilité est tout à fait comparable à celle de la *force résistante* de M. Mallard, elle est proportionnelle au courant de conduction.

M. Hertz lui-même a écrit les équations du mouvement électro-magnétique dans un milieu à la fois diélectrique et conducteur. Appelons $\lambda_{11}, \lambda_{22}, \lambda_{33}, \lambda_{12}, \lambda_{23}, \lambda_{31}$, des coefficients de conductibilité spécifique relatifs aux diverses directions. L'ellipsoïde de conductibilité aura pour équation :

$$\lambda_{11}x^2 + \lambda_{22}y^2 + \lambda_{33}z^2 + 2\lambda_{23}yz + 2\lambda_{31}zx + 2\lambda_{12}xy = 1.$$

A une force électrique X, Y, Z, correspondra maintenant un double courant :

1° Un courant de déplacement dû à ce que le corps est partiellement diélectrique.

2° Un courant de conduction, dû à ce que le corps est partiellement conducteur.

Dans la direction Ox, la composante du premier sera une fonction linéaire de $\frac{dX}{dt}, \frac{dY}{dt}, \frac{dY}{dt}$,

$$\frac{1}{4\pi}\left[\varepsilon_{11}\frac{dX}{dt} + \varepsilon_{12}\frac{dY}{dt} + \varepsilon_{13}\frac{dZ}{dt}\right].$$

La composante du second sera une fonction linéaire de X, Y, Z,

$$\lambda_{11}X + \lambda_{12}Y + \lambda_{13}Z.$$

Des deux systèmes fondamentaux d'équations de Hertz, celui qui exprime la loi générale de l'induction ne sera pas modifié. La f. é. m. induite par une variation du flux magnétique restera la même. C'est le système d'équations qui exprime la loi générale de l'électrodynamique qu'il faut compléter. C'est en effet le courant total (courant de déplacement + courant de conduction) qui crée un champ magnétique. Le système d'équation (3) devient

$$(5)\quad \begin{cases} A\left(\varepsilon_{11}\frac{dX}{dt} + \varepsilon_{12}\frac{dY}{dt} + \varepsilon_{13}\frac{dZ}{dt}\right) = \frac{dM}{dz} - \frac{dN}{dy} \\ \qquad - 4\pi A(\lambda_{11}X + \lambda_{12}Y + \lambda_{13}Z), \\ A\left(\varepsilon_{12}\frac{dX}{dt} + \varepsilon_{22}\frac{dY}{dt} + \varepsilon_{23}\frac{dZ}{dt}\right) = \frac{dN}{dx} - \frac{dL}{dz} \\ \qquad - 4\pi(A\lambda_{12}X + \lambda_{22}Y + \lambda_{23}Z), \\ A\left(\quad\frac{dX}{dt} + \varepsilon_{23}\frac{dY}{dt} + \varepsilon_{33}\frac{dZ}{dt}\right) = \frac{dL}{dy} - \frac{dM}{dx} \\ \qquad - 4\pi A(\lambda_{23}X + \lambda_{23}Y + \lambda_{33}Z). \end{cases}$$

En rapportant aux axes principaux d'induction électro-statique lesquels ne coïncident pas en général avec les axes principaux de conductibilité, on aurait les mêmes équations, mais avec $\varepsilon_{12} = \varepsilon_{23} = \varepsilon_{31} = 0$.

En éliminant les composantes L, M, N, on aurait pour X, Y, Z, le système

$$(6)\quad \begin{cases} \Delta X - \frac{\partial\Theta}{\partial x} = A^2\varepsilon_{11}\mu\frac{d^2X}{dt^2} \\ \qquad + 4\pi A^2\mu\left(\lambda_{11}\frac{dX}{dt} + \lambda_{12}\frac{dY}{dt} + \lambda_{13}\frac{dZ}{dt}\right), \\ \Delta Y - \frac{\partial\Theta}{\partial y} = A^2\varepsilon_{22}\mu\frac{d^2Y}{dt^2} \\ \qquad + 4\pi A^2\mu\left(\lambda_{12}\frac{dX}{dt} + \lambda_{22}\frac{dY}{dt} + \lambda_{23}\frac{dZ}{dt}\right), \\ \Delta Z - \frac{\partial\Theta}{\partial z} = A\varepsilon^2_{33}\mu\frac{d^2Z}{dt^2} \\ \qquad + 4\pi A^2\mu\left(\lambda_{13}\frac{dX}{dt} + \lambda_{23}\frac{dY}{dt} + \lambda_{33}\frac{dZ}{dt}\right). \end{cases}$$

Quel genre d'ondes pourra se propager dans un pareil milieu?

Supposons le milieu limité au plan des xy, et admettons qu'au-dessus des xy est un milieu isotrope transparent où se propage une onde plane. L'axe Oy est parallèle à cette onde.

Cherchons à satisfaire aux équations du mouvement par des solutions de la forme

$$\begin{cases} X = X_1 e^{i(\alpha x + \beta t)} \\ Y = Y_1 e^{i(\alpha x + \beta t)} \\ Z = Z_1 e^{i(\alpha x + \beta t)} \end{cases}$$

X_1, Y_1, Z_1, étant des fonctions de z seul on

a les trois équations suivantes pour déterminer les trois fonctions de z : X_1, Y_1, Z_1.

(7)
$$\left|\begin{aligned}
&\frac{d^2X_1}{dz^2} - i\alpha\frac{dZ_1}{dz} = -A^2\varepsilon_{11}\mu.\beta^2X_1 \\
&\qquad + 4\pi A^2\mu.i\beta\left[\lambda_{11}X_1 + \lambda_{12}Y_1 + \lambda_{13}Z_1\right] \\
&-\alpha^2Y_1 + \frac{d^2Y_1}{dz^2} = -A^2\varepsilon_{22}\mu\beta^2Y_1 \\
&\qquad + 4\pi A^2\mu.i\beta\left[\lambda_{12}X_1 + \lambda_{22}Y_1 + \lambda_{23}Z_1\right], \\
&-\alpha^2Z_1 - i\alpha^2\frac{dX_1}{dz} = -A^2\varepsilon_{33}\mu\beta^2Z_1 \\
&\qquad + 4\pi A^2\mu.i\beta\left[\lambda_{13}X_1 + \lambda_{23}Y_1 + \lambda_{33}Z_1\right].
\end{aligned}\right.$$

Ce sont des équations linéaires et homogènes. On y satisfera en posant :

(8)
$$\left|\begin{aligned}
X_1 &= X_0e^{hz}, \\
Y_1 &= Y_0e^{hz}, \\
Z_1 &= Z_0e^{hz},
\end{aligned}\right.$$

et les trois équations nous détermineront les rapports de X_0 et Y_0 à Z_0 par exemple, et l'exposant h.

Pour qu'il y ait double réfraction, il faut et il suffit que l'équation en h *soit du quatrième degré et du quatrième seulement*. Alors, en effet, il y a seulement quatre ondes dans le milieu, pour correspondre à une onde incidente extérieure, et à l'onde réfléchie que donnerait cette incidente.

C'est ici le cas. On a des termes en $\frac{d^2X_1}{dz^2}$ et $\frac{d^2Y_1}{dz^2}$, qui donnent des termes en h^2 mais comme il n'y a pas dans la troisième équation de terme en $\frac{d^2Z_1}{dz^2}$ ni en $\frac{dZ_1}{dz}$, mais seulement en Z_1, il n'y a dans l'équation résultante aucun terme de degré supérieur au quatrième.

Pour qu'il en soit ainsi, il est nécessaire qu'on ait au premier membre des termes en $\frac{d\Theta}{dx}$, $\frac{d\Theta}{dy}$, $\frac{d\Theta}{dz}$. Si ces termes n'existaient pas, la troisième équation conserverait un terme en $\frac{d^2Z_1}{dz^2}$ et l'on aurait en général le sixième degré. Par suite, il y aurait triréfringence.

On devra étudier à ce point de vue les divers systèmes d'équations proposés pour représenter le mouvement lumineux dans les différentes théories. Dans la théorie de la polarisation rotatoire, si l'on introduit des dérivées du troisième ordre, on voit par là qu'on ne peut pas introduire des dérivés du troisième ordre par rapport aux coordonnées sans avoir des termes en h^2 et par suite un nombre de rayons supérieur à 2 pour un rayon incident. On peut introduire, sans changer le nombre des rayons, toutes les dérivées par rapport au temps.

Dans les cas présents la différence entre les valeurs des coefficients ε suivant les théories ne change rien à l'aspect général du phénomène. En imaginant que les ε sont tous égaux, et qu'il y a seulement anisotropie de pouvoir conducteur, on voit que le corps présenterait encore la biréfrigérence dans un cas où il ne l'aurait pas s'il n'était pas absorbant.

A l'onde incidente donnée correspondent deux valeurs, h_1 et h_2, de h. Sans la présence des termes en λ, en général ces valeurs h_1 et h_2 seraient purement imaginaires. Ici les termes en λ étant multipliés par i, on aura des valeurs complexes.

Posons :

$$h_1 = -k_1 + il_1,$$
$$h_2 = -k_2 + il_2.$$

Donc :

$$\left|\begin{aligned}
X &= X_0e^{-k_1z}e^{i(\alpha x+l_1z+\beta t)} + X'_0e^{-k_2z}e^{i(\alpha x+l_2z+\beta t)} \\
Y &= Y_0e^{-k_1z}e^{i(\alpha x+l_1z+\beta t)} + Y'_0e^{-k_2z}e^{i(\alpha x+l_2z+\beta t)} \\
Z &= Z_0e^{-k_1z}e^{i(\alpha x+l_1z+\beta t)} + Z'_0e^{-k_2z}e^{i(\alpha x+l_2z+\beta t)}
\end{aligned}\right.$$

L'intensité lumineuse relative à l'une des deux ondes, est :

$$|X_0|^2 + |Y_0|^2 + |Z_0|^2$$

Quand elle a traversé une épaisseur z de cristal, l'intensité est donc simplement réduite dans le rapport e^{-2k_1z}.

L'absorption se fait donc suivant une loi exponentielle.

Nous avons fait, à vrai dire, une supposition un peu particulière, puisque nous avons pris pour surface de séparation un plan de

symétrie optique et pour onde incidente une onde polarisée parallèlement à l'un des deux axes de symétrie optique contenus dans ce plan. Mais il est aisé de montrer que le résultat est indépendant de cette hypothèse spéciale. Il suffit d'observer que les équations (6) et (7), si on y rétablit les termes en ε_{12}, ε_{23}, ε_{31}, ce qui revient à ne rien supposer sur l'orientation des axes par rapport à la surface réfringente et à l'onde, gardent leurs premiers membres intacts; et cela suffit pour que le degré de l'équation en h ne soit pas élevé. Tout ce qui a été déduit de là reste donc applicable.

Dans la traversée du cristal absorbant, la vibration reste semblable à elle-même. Pour une des ondes considérées, les rapports de X et Y à Z, restent fixes, égaux respectivement aux rapports de X_0 et Y_0 à Z_0. En général ces rapports ne seront pas réels ; c'est dire que la vibration sera elliptique. Le plan de vibration gardera une orientation constante, et l'ellipse de vibration gardera une forme invariable. Il ne saurait y avoir inclinaison progressive, ou changement de forme de la vibration, dans la traversée. Elle est simplement affaiblie, mais non déformée.

Comparons ces premiers résultats, qui ont été démontrés en toute rigueur, à ce qu'a donné l'expérience.

IV

L'expérience vérifie la loi qui fait dépendre l'absorption d'une onde de direction donnée, transmettant une vibration donnée, d'une exponentielle unique.

Cette loi a pourtant été contestée.

M. H. Becquerel admet qu'on peut représenter les phénomènes d'une façon différente. Il décompose la vibration en ses composantes suivant les trois axes d'élasticité optique; dans le cas d'un cristal uniaxe, qu'il examine plus spécialement, il décompose la vibration OV en deux composantes (suivant l'axe optique, OV sin α, et perpendiculairement à cet axe, OV cos α) et il admet qu'après avoir traversé l'unité d'épaisseur du cristal, chacune de ces composantes aura été absorbée d'une façon différente ; par suite chacune est affectée d'un coefficient d'affaiblissement spécial, les amplitudes deviennent a cos α et b sin α, a et b étant des coefficients plus petits que l'unité [1]. Ces mouvements se recomposent ensuite suivant OV, en donnant une amplitude résultante

$$a \cos^2 \alpha + b \sin^2 \alpha,$$

et l'intensité aurait pour valeur

$$i = (a \cos^2\alpha + b \sin^2 \alpha)^2.$$

D'ailleurs a et b seraient, séparément, proportionnels à une fonction exponentielle de l'épaisseur.

Il convient d'ailleurs d'observer que dans son Mémoire, M. H. Becquerel insiste moins sur ce résultat, que sur un autre résultat parfaitement confirmé depuis, à savoir la loi qui lie l'absorption d'une onde uniquement à la direction de la vibration lumineuse.

Une expérience intéressante est venue, depuis, montrer que cette conception du phénomène de l'absorption était inexacte. Cette expérience est due à M. Carvallo, qui par une ironie singulière, l'avait imaginée en croyant mettre en évidence une conséquence « paradoxale » de la théorie de M. Becquerel. Et il s'est trouvé, qu'en faisant l'expérience indiquée par M. Carvallo, M. Potier a obtenu un résultat exactement contraire à celui qu'avait annoncé M. Carvallo; montrant, par là même, au moins le défaut de généralité de la théorie de M. Becquerel, par l'inexactitude d'une de ses conséquences nécessaires.

L'expérience a porté sur la tourmaline [2]. L'intensité après une épaisseur z d'un rayon extraordinaire incliné de l'angle α sur l'axe optique, se déduisait de l'intensité initiale i_0 par la formule :

$$\sqrt{i} = \sqrt{i_0}\,\left(e^{-mz} \cos^2\alpha + e^{-nz} \sin^2\alpha\right).$$

(1) H. Becquerel. *Ann. de Ch. et de Phys.* 6e série, t. XIV, p. 187.

(2) Carvallo. *Séances de la Soc. franç. de phys.*, année 1892, p. 169. (Séance du 1er avril 1892).

Si on double l'épaisseur de cristal, on aura $2z$, et une intensité finale i_1.

$$\sqrt{i_1} = \sqrt{i_0}\left(e^{-2mz}\cos^2\alpha + e^{-2nz}\sin^2\alpha\right).$$

Mais d'autre part, on peut dire que la seconde épaisseur z produira le même effet que la première : c'est ce qui aura lieu si l'on admet que la forme de la vibration, que son état de polarisation, reste invariable, dans un cristal absorbant. Alors on a :

$$\frac{i_2}{i} = \frac{i}{i_0},$$

ou

$$\sqrt{i_2} = \sqrt{i_0}\left(e^{-mz}\cos^2\alpha + e^{-nz}\sin^2\alpha\right)^2$$

Ces deux valeurs i_1 et i_2 sont différentes. Donc, comme le remarque M. Carvallo, la théorie de M. Becquerel est incompatible avec « l'hypothèse » d'après laquelle l'état de polarisation ne change pas à mesure que le rayon pénètre dans le cristal. Là où M. Carvallo se trompait, c'est quand il rejetait cette « hypothèse ».

La tourmaline offre ceci de particulier que le rayon ordinaire est absorbé presque complètement sous une faible épaisseur; la vibration ordinaire est toujours normale à l'axe optique; si l'on admet que le coefficient d'absorption est le même pour une composante quelconque normale à l'axe, on en conclut que e^{-mz} est nul, dès que z est sensible. Donc les expressions précédentes se réduisent à :

$$\sqrt{i_1} = \sqrt{i_0}\, e^{-2nz}\sin^2\alpha.$$
$$\sqrt{i_2} = \sqrt{i_0}\, e^{-2nz}\sin^4\alpha.$$

Si on fait $\alpha = 45°$, le rapport des deux valeurs calculées pour la racine carrée de l'intensité est $\sin^2 45° = \frac{1}{2}$; le rapport des deux valeurs de l'intensité est $\frac{1}{4}$. Prenons une tourmaline d'épaisseur $2z$ et coupons-la en deux, d'épaisseur z. Interposons entre les deux lames une couche de liquide — sulfure de carbone — ayant sensiblement le même indice, pour éviter des pertes de lumière par réflexion. Si le calcul précédent est exact, on devra avoir dans le cas des deux lames successives, l'intensité i_2, dans le cas de la lame unique de même épaisseur totale l'intensité i_1, 4 fois plus grande.

Telle est l'expérience ingénieuse, qu'a réalisée effectivement M. Potier (1). Le résultat n'en est pas douteux. L'intensité est exactement la même dans les deux cas. C'est donc l'hypothèse de la constance de l'état de polarisation du rayon absorbé, à l'intérieur du cristal, qui est exacte, et toute théorie qui aboutit à une variation progressive de l'état de polarisation, à une inclinaison progressive de la vibration dans le cristal, est à rejeter.

M. Carvallo lui-même, comme en fait foi sa nouvelle théorie, s'est d'ailleurs rallié à cette manière de voir.

(*A suivre.*)

B. BRUNHES,
Professeur à la Faculté des sciences de Dijon.

QUELQUES PROPRIÉTÉS GÉNÉRALES DES CHAMPS MAGNÉTIQUES TOURNANTS (2)

III. Théorie et calcul des fuites magnétiques dans les champs tournants.

Jusqu'ici, on a considéré seulement les propriétés d'un enroulement isolé. Un moteur à champ tournant comprend en réalité deux enroulements, l'un primaire alimenté par le réseau, l'autre secondaire, fermé sur lui-même : Les forces magnétomotrices de ces deux enroulements étant antagonistes, il se produit une perte de flux magnétique assez considérable au passage de l'entrefer et le flux ne reste pas rigoureusement le même à travers les deux enroulements en présence.

Pour calculer ces pertes et en faire saisir le mécanisme, il me suffira de compléter la théorie des dérivations magnétiques que le

(1) Potier. *Comptes rendus de l'Acad. des Sciences. Séance du* 11 avril 1892.

(2) Voir l'*Eclairage Electrique* du 10 août, p. 241 et du 17 août, p. 308.

Dr J. Hopkinson a établie seulement dans le cas d'un enroulement magnétisant unique à courant continu. Je prends comme point de départ le principe suivant :

Lemme. — La répartition des lignes de force dans un espace soumis à l'action magnétisante de plusieurs courants électriques et comprenant divers milieux de perméabilités supposées constantes respectivement, peut s'obtenir par la superposition des champs magnétiques que produirait séparément chacun des courants.

C'est une simple transposition dans le magnétisme du théorème général de la superposition des états électriques ; l'emploi en est seulement rendu plus difficile par les variations de la perméabilité ; mais on va voir qu'on peut néanmoins en taire des applications suffisamment approchées dans les appareils industriels.

Application théorique. — Pour rendre l'exposé plus clair, prenons d'abord un exemple simple où nous n'aurons affaire qu'à des courants continus. Soit deux noyaux en substances magnétiques, en fer à cheval $A_1\, B_1\, C_1\, D_1$, $A_2\, B_2\, C_2\, D_2$ (fig. 15) de sections S_1 et S_2, portant chacun un enroulement a_1 et a_2 et rapprochés de manière à laisser entre eux un certain entrefer e. Les enroulements sont parcourus par deux courants opposés i_1 et i_2. On demande de déterminer approximativement par le calcul la valeur du flux et des fuites magnétiques qui se produisent. Voici comment nous pouvons arriver au résultat.

Supposons d'abord constantes les perméabilités μ_1 et μ_2 de chacun des noyaux. Faisons passer dans a_1 un courant i_1 ; un certain flux se produira dans le noyau de fer, une partie Φ_1 traversera l'enroulement a_2 et le reste s'échappera sous forme de fuites magnétiques dont les directions sont tracées au pointillé. Le flux qui traverse l'enroulement excitateur sera donc $v_1\, \Phi_1$ en désignant par v_1 le coefficient d'Hopkinson relatif à cette distribution du flux.

Supposons de même qu'on supprime le courant i_1 et qu'on fasse passer dans le circuit a_2 un courant i_2 agissant en sens inverse du précédent ; il se produira un flux Φ_2 à travers le circuit a_1 et $v_2\, \Phi_2$ à travers le circuit a_2, v_2 étant le coefficient de fuite correspondant à ces nouvelles conditions.

Les perméabilités μ_1 et μ_2 étant connues d'avance par hypothèse, les coefficients v_1 et v_2 peuvent être calculés par les méthodes de MM. Hopkinson et Forbes, et seront des constantes.

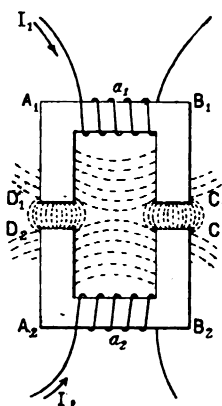


Fig. 15. — Principe de l'étude des fuites magnétiques produites par des enroulements antagonistes.

Excitons maintenant les deux enroulements à la fois par les courants i_1 et i_2 respectivement et superposons les états magnétiques ci-dessus ; les flux dans les deux noyaux seront respectivement :

dans l'enroulement a_1

$$F_1 = \nu_1 \Phi_1 - \Phi_2 ;$$

dans l'enroulement a_2

$$F_2 = \Phi_1 - \nu_2 \Phi_2,$$

ce qui constitue la solution cherchée.

Supposons que l'on donne à Φ_1 et Φ_2 des valeurs indéfiniment croissantes ; on pourra conserver dans l'enroulement a_1 le même flux F_1 à la seule condition de régler i_1 et i_2 de façon que la différence

$$\nu_1 \Phi_1 - \Phi_2,$$

soit constante ; mais le flux perdu qui a pour expression

$$F_1' = (\nu_1 - 1)\, \Phi_1$$

ira, lui, en croissant indéfiniment. Il en sera de même du flux perdu produit par l'enroulement secondaire et qui a pour valeur

$$F_2' = (\nu_2 - 1)\,\Phi_2.$$

On conçoit ainsi que la valeur relative des uites, c'est-à-dire leur rapport au flux total

$$\frac{F_1' + F'_2}{F_1},$$

pourra aller en croissant indéfiniment, *bien que le flux* F_1 *reste constant* ainsi que les coefficients v_1 et v_2.

On arrive par suite aux deux conclusions suivantes : 1° Lorsque deux excitations indépendantes produisent un flux par leur action résultante, on peut, toutes les fois que les perméabilités μ_1 et μ_2 *sont connues à l'avance*, déterminer les coefficients de pertes v_1 et v_2, et par suite les flux F_1 et F_1'.

2° Lorsque μ_1 et μ_2 peuvent être supposés constants, la connaissance des deux constantes v_1 et v_2 permet facilement d'apprécier la façon dont varient le flux perdu et le flux utile pour toute valeur des excitations.

Applications pratiques. — Voyons maintenant quel parti on peut tirer de ces remarques pour les approximations de la pratique, bien qu'en fait, avec des noyaux en fer, μ_1 et μ_2 ne soient pas constants, ni connus à l'avance.

1° Supposons que dans le probléme précédent on demande d'étudier un seul régime, défini par les ampères-tours $n_1 i_1$ e $n_2 i_2$; μ_1, μ_2, Φ_1, Φ_2, etc., sont inconnus. Si les pertes sont faibles on peut calculer, sans en tenir compte, des valeurs approchées de Φ_1 et Φ_2 puis déterminer v_1 et v_2. Ensuite on peut en déduire des valeurs plus exactes des perméabilités μ_1 et μ_2 et reprendre le calcul de Φ_1, Φ_2, v_1, v_2, et ainsi de suite. Par ces tâtonnements on peut arriver à une solution aussi approchée que le permet le peu de précision réalisable dans les calculs des flux de perte.

2° Si la réluctance de la partie « fer » du circuit est trés faible à tout régime à côté de celle de l'entrefer, on pourra la négliger et déterminer v_1 et v_2 uniquement d'après les espaces d'air à franchir. Ces cœfficients seront alors sensiblement constants à tout régime.

3° Si la réluctance du circuit fer n'est pas négligeable, on pourra néanmoins conserver les mêmes valeurs de v_1 et v_2 à condition que les flux F_1 et F_2 varient peu, car alors les réluctances des deux fers à cheval restent à peu près les mêmes ; en tout cas, on pourra ne leur faire subir que de faibles corrections après un premier calcul fondé sur leur constance.

L'une ou l'autre de ces conditions sont réalisées suffisamment, comme on va le voir, dans les transformateurs et les moteurs à courants alternatifs.

Cas des courants alternatifs. — Dans ces appareils, on rencontre encore deux enroulements antagonistes, mais qui fonctionnent dans des conditions notablement différentes de celles examinées dans l'exemple qu'on vient de voir. D'abord les courants sont alternatifs [1], en outre l'un d'eux est produit par l'induction même de l'autre, ce qui établit entre eux une dépendance particulière. Le décalage de phase entre les deux courants i_1 et i_2 oblige à tenir compte des phases des flux pour les combiner.

Pour cela il suffit de composer les flux géométriquement au lieu de les ajouter ou retrancher seulement algébriquement.

Par exemple, si on a deux flux Φ_1 et Φ_2 sinusoïdaux représentés par les vecteurs $\overline{OA_1}$ et $\overline{A_1A_2}$ (fig. 16) les flux $v_1\,\Phi_1$ et $v_2\,\Phi_2$ seront représentés sur les mêmes directions par $\overline{OB_1}$ et $\overline{A_1B_2}$ puisqu'ils ne diffèrent pas en phase des précédents. Puis on obtiendra F_1 en traçant la résultante $\overline{OC_1}$ de $\overline{OB_1}$ et $\overline{A_1A_2}$ et F_2 en traçant la résultante $\overline{OB_2}$ de $\overline{A_1B_2}$ et $\overline{OA_1}$.

Dans les transformateurs les flux F_1 et F_2 peuvent sans erreur sensible être considérés comme constants dans les limites pratiques de

(1) Les variations continuelles de l'induction ne permettent plus, en toute rigueur, de la considérer comme constante : mais nous pouvons, conformément à l'hypothèse ordinaire, introduire une réluctance moyenne calculée d'après le flux moyen. Je suppose dans toute la suite qu'il en est ainsi.

fonctionnement. Il en sera donc de même des coefficients v_1 et v_2.

Dans les moteurs asynchrones, le flux F_1 et par suite l'induction $\mathcal{B}_1$ dans le circuit primaire restent à peu près constants, et le flux F_2 varie seul; encore varie-t-il très peu entre la marche à vide et la pleine charge; et la présence d'un entrefer, même très faible, fait que ces variations ne jouent dans la réluctance magnétique qu'un rôle accessoire; on peut donc avec une approximation suffisante considérer v_1 et v_2 comme constants à tous les régimes de marche courante. C'est seulement dans l'étude du démarrage qu'on aura quelquefois besoin de calculer de nouvelles valeurs de v_1 et v_2, comme on le verra; on y arrivera par la méthode de tâtonnement indiquée ci-dessus.

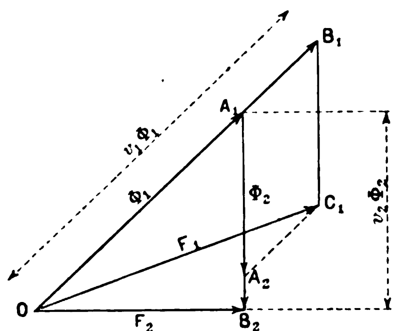


Fig. 16. — Diagramme fondamental des flux dans un moteur à induction.

Détermination des coefficients v_1 et v_2 dans les moteurs asynchrones. — Le calcul des v peut se faire approximativement en considérant encore le champ tournant comme résultant de la superposition des champs élémentaires, comme nous l'avons fait pour le calcul des ampères-tours.

Soit $\frac{n}{2}$ le nombre de fils par encoche, deux encoches décalées de une demi-période sont parcourues par un même courant et donnent naissance à un flux φ, le flux tournant total Φ résulte de la superposition des champs ainsi produits par les circuits de chaque paire d'encoches.

Soit $\mathcal{S}$ la perméance offerte aux pertes *d'un de ces circuits*, parcourus par le courant i (valeur du courant à l'instant considéré), la perte de flux subie par le flux φ est à cet instant

$$\mathcal{S} \times 4\pi \frac{n}{2} i = 2\pi n i \mathcal{S}.$$

Mais ce flux ne traverse que $\frac{n}{2}$ spires au lieu de $\frac{N'}{2}$; la perte rapportée au flux tournant total est donc seulement

$$2\pi \frac{n^2 i}{N'} \mathcal{S}.$$

et la perte totale de flux à un instant donné sera, puisque $\mathcal{S}$ est le même pour tous les circuits semblables,

$$f = 2\pi \mathcal{S} \Sigma \frac{n^2}{N'} i = 4\pi \mathcal{S} \frac{n}{N'} \Sigma \frac{n}{2} i,$$

$\Sigma \frac{n}{2} i$ étant le nombre total maximum d'ampères-tours produit par l'enroulement à un moment donné.

En comparant ce flux de perte au flux utile Φ calculé précédemment, c'est-à-dire

$$\Phi = \frac{2\pi K N' I \sqrt{2}}{\mathcal{R}},$$

on obtient la valeur de v

$$v_1 = 1 + \frac{f}{\Phi} = 1 + \frac{n}{N'} \mathcal{S}\mathcal{R} \frac{\Sigma_1' ni}{K N' I \sqrt{2}}.$$

Il est facile d'exprimer la valeur maxima de Σni pour chaque espèce de moteurs en fonction de $N' I \sqrt{2}$; en posant

$$\frac{(\Sigma ni)_{max.}}{N' I \sqrt{2}} = \psi,$$

on aura

$$v_1 = 1 + \frac{n}{K N'} \mathcal{S}\mathcal{R};$$

ψ a pour valeur

$\frac{2}{3} = 0{,}666$ pour les courants triphasés,

$\frac{\sqrt{2}}{2} = 0{,}707$ » diphasés,

1 » monophasés.

ce qui montre la supériorité des deux premiers systèmes sur le troisième.

Plus généralement s'il y a plusieurs causes de pertes on aura par analogie

$$\nu_1 = 1 + \psi \frac{n}{\mathrm{KN}'} (\Sigma \mathfrak{P}\mathfrak{R}).$$

Tout se ramène ainsi au calcul des produits $\mathfrak{P}\mathfrak{R}$ pour une seule bobine, ce qui est assez simple comme on va le voir. Soit A et B (fig. 17) les deux encoches dans lesquelles sont placés les *n* fils d'une bobine primaire et φ son flux principal; les fuites seront constituées par les lignes de force qui passent directement de A en A' et de B en B' sans couper les spires secondaires. Ce passage peut se faire soit directement autour des fils primaires, soit dans l'entrefer, soit enfin par la périphérie du secondaire. Pour simplifier il suffit de considérer ce qui se passe pour un demi-flux entre MN et M'N'.

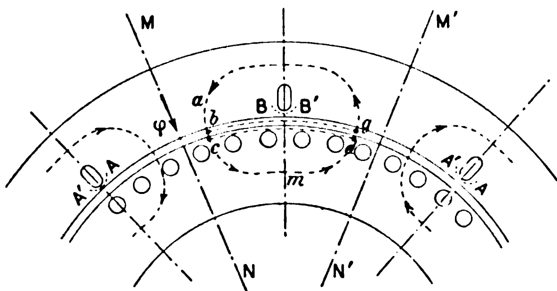


Fig. 17. — Diagramme pour le calcul des fuites magnétiques.

1° *Fuite dans le secondaire.* — La ligne *a b c m d g h.* représente le parcours moyen des lignes de force du demi-flux principal $\frac{1}{2}\Phi$; la ligne *cd* représente le parcours moyen du flux de perte. Soit $\mathfrak{R}_2 + \mathfrak{R}'_2$ la réluctance que rencontre le flux entre les dentures et le long de son passage dans le noyau du secondaire (réluctance qui a été calculée plus haut), p la perméance du trajet de fuite *cd*; on aura un premier v à appliquer :

$$v' = 1 + p(\mathfrak{R}_2 + \mathfrak{R}'_2).$$

Si les encoches ne sont pas fendues, la perméance p ne peut être déterminée qu'en faisant une hypothèse sur la perméabilité du fer, qui sera variable avec l'intensité des courants; au démarrage le fer du trajet *cd* est toujours saturé. Lorsque les encoches secondaires sont fendues, on peut calculer la fuite de la façon indiquée plus loin pour les encoches primaires, en considérant seulement les entrefers, car dans ce cas du reste le coefficient v' est presque négligeable.

2° *Fuite dans l'entrefer.* — Soit l_e la longueur *bg*, *e* l'entrefer; il se produit une fuite le long de la circonférence offerte au passage du flux principal entre A et B sous un pôle; la perméance de perte est

$$p' = \frac{cb}{l_e}.$$

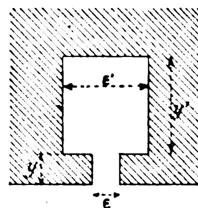


Fig. 18.

3° *Fuite dans le primaire.* — Supposons d'abord que le bobinage soit fait en tambour : les seules fuites qui puissent se produire entre les deux côtés B et B' de l'encoche seront fournies par des lignes de force traversant soit l'encoche elle-même, soit le rebord qui la sépare de l'entrefer. Si ce rebord n'est pas perforé, on est obligé de faire une hypothèse sur la perméabilité μ du fer qui le forme, et par suite sur la perméance p'' qu'il offre au passage du flux. Au contraire, s'il est perforé comme sur la figure 18, la perméance se calcule aisément; en appelant y la hauteur des lèvres et ε leur écartement

$$p'' = \frac{y}{\varepsilon}.$$

Quant à la perméance de l'encoche elle-même, que nous supposerons rectangulaire, on

démontre, moyennant une hypothèse, qu'elle a pour expression analogue

$$p''' = \frac{y'}{2\varepsilon'},$$

y' étant la profondeur et ε' la longueur [1].

On a donc finalement le v correspondant à la fuite dans l'entrefer et entre les encoches primaires en comparant la perméance $p' + p'' + p'''$ à celle de l'entrefer plus le secondaire

$$\nu'' = 1 + (p' + p'' + p''')(\mathfrak{R}_e + \mathfrak{R}_2 + \mathfrak{R}_2').$$

4° *Fuite dans l'air extérieur.* — Il faudrait ajouter encore la perméabilité des fuites

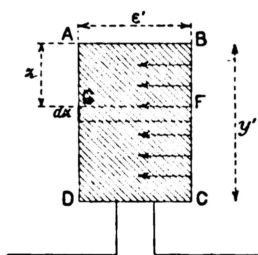


Fig. 19.

qui se produisent dans l'air autour des spires. On peut la négliger dans le cas de l'enroulement en tambour, mais elle peut prendre une certaine importance dans un enroulement Gramme. Soit l_a le parcours moyen des lignes de force dans l'air, d l'écartement moyen des spires et $(b + 2b')$ leur longueur moyenne hors de l'entrefer; la perméance de perte nouvelle à ajouter dans v'' sera approximativement

$$p_a = \frac{d}{2l_a}(b + 2b').$$

[1] En effet considérons (fig. 19) l'enroulement de n spires logé dans une encoche rectangulaire ABCD ouverte ou non vers le bas; le flux de perte cherché peut être considéré comme s'échappant d'une paroi à l'autre suivant la direction des flèches. Or si l'on prend une tranche infiniment petite dz parallèle à ces lignes de force, elle présente une différence de potentiel magnétique entre ses extrémités, égale à $4\pi \frac{z}{y'} nI$, I étant le courant dans chaque fil à l'instant considéré. Le flux total qui passe entre AB et CD dans l'encoche de longueur b est donc

$$\frac{4\pi n b I}{\varepsilon' y'} \int_0^{y} z\,dz = 4\pi n I \frac{\varepsilon'}{2y'}.$$

Finalement le flux qui traversera la bobine primaire considérée sera

$$\varphi' = \nu' \nu'' \varphi,$$

qu'on peut écrire sensiblement, étant donné que v' et v'' sont petits,

$$\varphi' = \varphi\,[1 + p\,(\mathfrak{R}_2 + \mathfrak{R}_2') + (p' + p'' + p''')(\mathfrak{R}_2 + \mathfrak{R}_2' + \mathfrak{R}\,)]$$

La parenthèse représente le coefficient d'Hopkinson global à appliquer au flux élémentaire φ pour avoir le flux primaire correspondant φ'.

Revenons maintenant à l'équation relative au flux total Φ

$$\nu_1 = 1 + \psi \frac{n}{N'} \Sigma \mathfrak{R} \mathfrak{P},$$

nous obtenons, en posant $\frac{N'}{n} = m$, (c'est-à-dire en appelant $2m$ le nombre des encoches pour un champ),

$$\nu_1 = 1 + \frac{\psi}{m}\left[p(\mathfrak{R}_2 + \mathfrak{R}_2') + (p' + p'' + p''')(\mathfrak{R}_2 + \mathfrak{R}'_2 + \mathfrak{R}_e)\right].$$

Pour produire un flux Φ_1 à travers le secondaire, il faudra que le flux qui traverse le primaire ait la valeur

$$\nu_1 \Phi_1.$$

Ces calculs faciles à appliquer permettent de prévoir rapidement d'une manière approchée et assez précise, surtout lorsque toutes les encoches sont fendues, le coefficient de perte du circuit primaire.

On ferait exactement de même pour le circuit secondaire, et on aurait ainsi le coefficient v_2 applicable à ce circuit.

Les chiffres obtenus par cette méthode de calcul sont absolument du même ordre que ceux que donne l'expérience.

Les formules ont l'avantage de bien montrer l'influence de chacun des éléments de la construction, en particulier du nombre d'encoches par champ $2m$ et de la réluctance d'entrefer $\mathfrak{R}_e$. Le coefficient ψ caractérise comme on l'a vu l'influence du nombre de phases employé.

Mesure empirique de v_1 et v_2. — On peut, lorsqu'on dispose d'un moteur déjà construit, mesurer v_1 et v_2 d'une façon analogue à ce

qu'a fait M. Kolben, qui n'a mesuré en réalité que v_1. On ouvre tous les circuits secondaires, par exemple, et on fait passer des courants primaires produits par un circuit d'alimentation au voltage normal; il se produit un flux tournant primaire ayant la valeur normale. On dispose un bobinage d'étude de quelques fils (un ou deux par encoche) dans les encoches primaires et un autre dans les encoches secondaires. Soit n_1 et n_2 leurs nombres de spires; le rapport des forces électromotrices donne le coefficient v_1.

$$\nu_1 = \frac{e_1}{e_2}\frac{n_2}{n_1}.$$

Si on détermine maintenant par des moyens analogues [1] un champ tournant, non plus dans le primaire, mais dans le secondaire, on aura de nouvelles valeurs, e'_1 e'_2 et

$$\nu_2 = \frac{e_2'}{e_1'}\frac{n_1}{n_2}.$$

En général, v_2 est plus grand que v_1 par suite du mode de construction. D'une façon générale, il peut y avoir entre ces deux coefficients des différences considérables suivant la disposition des encoches (les coefficients v varient facilement de 1,05 à 1,20).

Coefficient de dispersion. — On verra prochainement que, dans les formules, on peut presque partout remplacer les deux constantes indépendantes v_1 et v_2 par une autre qui est fonction des deux à la fois

$$\sigma = 1 - \frac{1}{\nu_1\nu_2}.$$

On démontrerait aisément que cette fonction σ est équivalente à celle que l'on définit ordinairement par l'équation

$$\frac{M}{L_1 L_2} = 1 - \sigma.$$

Mais la définition ci-dessus a l'avantage d'être nette et précise, et de se prêter à un calcul pratique, tandis que l'ancienne est purement théorique, et conduit ceux qui l'emploient à de grosses erreurs, en particulier à l'hypothèse implicite

$$\nu_1 = \nu_2 = \sqrt{1-\sigma}.$$

que font bien des auteurs et qui est absolument inexacte.

Dans les moteurs, le coefficient σ n'est guère inférieur à 0,10; il atteint facilement 0,25 et au delà. Par suite de la saturation des petits isthmes de fer qui séparent les encoches de l'entrefer, il est naturellement toujours plus faible au démarrage qu'en charge normale.

Valeurs à donner aux réluctances pour tenir compte des fuites. — L'effet des fuites est de modifier la réluctance $\mathfrak{R}$ calculée précédemment; d'une part, en effet, la perméabilité totale du circuit se trouve augmentée par ces fuites, de l'autre l'induction peut se trouver modifiée dans les parties fer. On verra plus loin comment varie cette induction; pour le moment nous remarquerons simplement que la partie fer du circuit n'entrant que pour une fraction dans la valeur de la réluctance, celle-ci variera sensiblement comme si les dérivations du flux se produisaient à son point de départ lui-même. Il en résulte qu'on peut prendre approximativement comme réluctance des circuits primaire et secondaire.

$$\frac{\mathfrak{R}}{\nu_1} \quad \text{et} \quad \frac{\mathfrak{R}}{\nu_2},$$

$\mathfrak{R}$ étant la réluctance du circuit principal commun aux flux primaire et secondaire.

Les self-inductions primaire et secondaire seront dans cette hypothèse

$$\lambda_1 = \nu_1 \frac{\pi K_1 k_1 N_1^2}{\mathfrak{R}}$$

et

$$\lambda_2 = \nu_2 \frac{\pi K_2 k_2 N_2^2}{\mathfrak{R}}.$$

Quand v_1 et v_2 ou $\mathfrak{R}$ ne restent pas constants, il faut évidemment calculer plusieurs valeurs de λ_1 et λ_2 s'appliquant aux diverses circonstances prévues. Dans le cas de l'alimentation à potentiel constant, le seul cas intéressant en pratique, on verra qu'il suffit en général de calculer deux valeurs correspon-

[1] Cela n'est possible que si l'induit est à phases.

dant l'une à la marche normale et l'autre au démarrage.

Conclusions. — J'espère avoir montré qu'on peut, sans hypothèses trop audacieuses, se rendre compte d'une façon simple des propriétés générales des champs tournants et tenir compte de la distribution de ceux-ci. L'emploi de formules donnant sous une forme commode les *ampères-tours équivalents* et les coefficients de fuite me paraît pouvoir rendre des services pour le calcul. Dans un prochain article, je ferai l'application de ces données à la théorie des moteurs asynchrones (¹).

ANDRÉ BLONDEL.

REVUE

DE LA PRESSE INDUSTRIELLE

ET DES INVENTIONS

La transmission électrique de l'heure à Toronto, système J.-J. Wright. (²)

Nous avons déjà signalé l'installation d'un réseau de distribution horaire par la Compagnie d'éclairage électrique de Toronto (³), sur lequel le courant est fourni par les dynamos de la station centrale d'éclairage. Cette installation est donc doublement intéressante.

La figure 1 représente le schéma des circuits. G est l'horloge directrice qui commande un circuit local dans lequel se trouvent une pile C et un électro-aimant B. Celui-ci sert à déclancher le transmetteur J, dont le mécanisme est représenté en figure 2, et qui sert à transmettre une fois toutes les 30 secondes, le courant de la dynamo I, sur le réseau de distribution où pour plus de simplicité, on n'a représenta qu'une horloge réceptrice K, dont le fonctionnement peut se comprendre aisément sans figure.

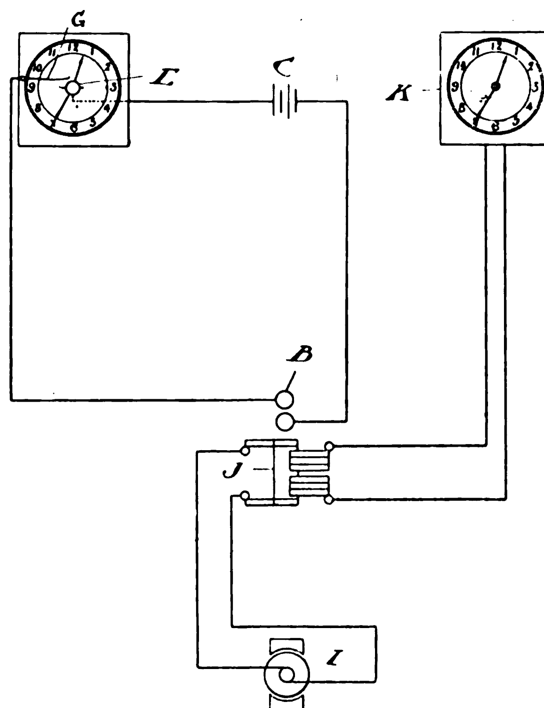


Fig. 1. — Schéma des communications pour la transmission électrique de l'heure.

1° *Horloge directrice.* — Sur l'axe de l'aiguille des secondes, est monté un disque E portant deux contacts diamétralement opposés. Ces contacts servent à fermer sur l'électro-aimant B le courant de la pile C. L'axe des secondes faisant un tour par minute, le circuit est donc fermé une fois toutes les 30 secondes.

L'horloge directrice n'ayant pour toutes fonction qu'à actionner l'électro-aimant B, le courant peut être excessivement faible et le contact E G très délicat; les contacts ont donc peu de chance de s'oxyder par les étincelles de rupture et la marche de l'horloge directrice

(¹) Depuis que ces lignes ont été écrites, M. Hanappe a publié dans ce journal, sur un sujet analogue, mais plus spécial, une très intéressante étude expérimentale, pleine de documents importants et nouveaux. Je n'en ai eu connaissance que trop tard pour pouvoir la discuter ici; mais je ferai remarquer que le flux qu'a déterminé l'auteur, est seulement le flux statique. Grâce au grand nombre d'encoches, celui-ci ne diffère pas du flux dynamique et cela a permis des vérifications expérimentales intéressantes; mais il est permis de croire qu'avec un moteur multipolaire, la différence entre les champs statique et dynamique eût rendu celles-ci beaucoup moins satisfaisantes.

(²) *Canadian Electrical News*, juillet 1895, p. 116.

(³) *L'Eclairage Electrique*, du 3 août, p. 239.

n'est pas sensiblement influencée par le fonctionnement de l'interrupteur.

2° *Transmetteur.* — Le transmetteur se compose essentiellement d'un commutateur inverseur O, genre Ruhmkorff, dont la rotation est commandée par un mouvement d'horloge à poids P, Q, R, S. Ce commutateur comprend un cylindre isolant sur lequel sont montées 4 plaques de contact et deux bagues d'amenée du courant; ces dernières *a* et *b* sont placées à l'extrémité du cylindre isolant et sont en contact permanent avec les balais *i* et *j* qui amènent le courant de la dynamo. Deux des plaques de contact, *c* et *d*, sont montées suivant une même génératrice du cylindre, et isolées l'une de l'autre; *c* communique avec la bague *a* et *d* avec la bague *b*. Les deux autres plaques de contact sont montées suivant la génératrice diamétralement opposée du cylindre; elles sont isolées l'une de l'autre et des bagues *a b*. Celle *e* qui est immédiatement

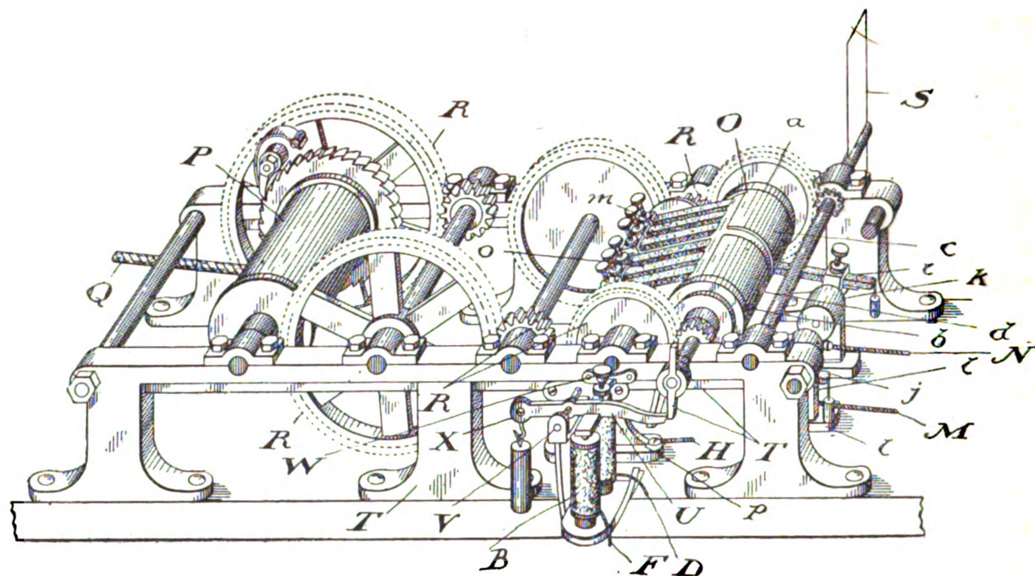


Fig. 2. — Détails du transmetteur.

en dessous de *c* communique par un fil avec *d* et celle *f* en dessous de *d* avec *c*. La largeur de ces plaques de contact est telle qu'un arc de plusieurs degrés est laissé à nu, entre les deux rangées de plaques. Des brosses *m* frottent sur ce cylindre et communiquent, par des fils tels que H avec un tableau de distribution et, de là, avec le circuit extérieur de distribution.

Le cylindre O tend à tourner régulièrement autour de son axe, sous l'action du poids moteur; mais il en est empêché par une tige à deux bras T, montée sur son axe, et qui vient buter contre un levier V, solidaire de l'armature de l'électro-aimant B. Cette armature est pivotée en V est porte un poids antagoniste X. Chaque fois que l'électro-aimant B est actionné par l'horloge directrice, le levier U, en s'abaissant dégage le bras T et le cylindre O se met à tourner. A l'état de repos les balais *m* sont en contact avec la partie isolante du cylindre et aucun courant ne passe; lorsque le commutateur tourne, les plaques *c d* viennent en contact avec les balais et un courant d'un certain sens est lancé sur la ligne. L'électro-aimant B ayant abandonné son armature, le second bras de la tige T vient s'engager dans le bras V et arrêter ainsi le mouvement lorsque le cylindre O a accomplit une rotation de 180°. Les balais *m* se trouvent alors en contact avec une partie isolante du cylindre et le courant est interrompu. Lorsque l'électro B sera

encore actionné, c'est-à-dire 30 secondes plus tard, le cylindre O fera encore un demi-tour sur son axe et, par suite des communications expliquées plus haut, un courant de sens inverse au premier sera lancé dans le circuit.

L'avantage de ce dispositif, c'est que si, par suite du mauvais état du contact E G (fig. 1) ou des vibrations, plusieurs émissions de courant ont lieu pour un seul contact, une seule émission de courant est faite sur le réseau de distribution, car les vibrations de l'armature ont lieu avant que la tige T ait accompli sa demi-rotation.

3° *Horloges réceptrices.* — Les horloges réceptrices sont montées en dérivation sur le circuit de distribution. Chacune d'elles se compose essentiellement d'un petit moteur électrique qui ne peut fonctionner qu'avec des courants alternativement renversés, (c'est une des particularités du système) et qui actionne directement par engrenages les aiguilles du cadran.

Le moteur se compose d'un seul électro-aimant, dont l'armature est formée par un aimant pivoté en son centre et dont l'axe commande le mouvement des aiguilles. Lorsque l'électro-aimant est actionné, ses pôles attirent les pôles opposés de l'armature qui se met à tourner; un dispositif spécial force la rotation à ne se faire que dans une seule direction. A l'émission de courant suivante, la polarisation de l'électro-aimant étant changée, les pôles de l'armature qui étaient d'abord attirés sont repoussés, et réciproquement; l'armature fait donc un demi-tour. Si le courant lancé par l'interrupteur J avait été de même sens que le premier, il est évident que l'armature n'aurait pas bougé. Si donc, par suite du mauvais état des contacts du commutateur O, deux ou plusieurs émissions successives de courant de même direction ont lieu, la première seule actionnera les horloges réceptrices, et l'exactitude des indications horaires n'en sera pas faussée.

G.-P.

Dispositif pour mesurer la différence de phase mécanique de deux machines, par A. Wilke.

Pour déterminer la différence des phases de rotation de deux machines éloignées l'une de l'autre, M. Wilke propose le dispositif suivant.

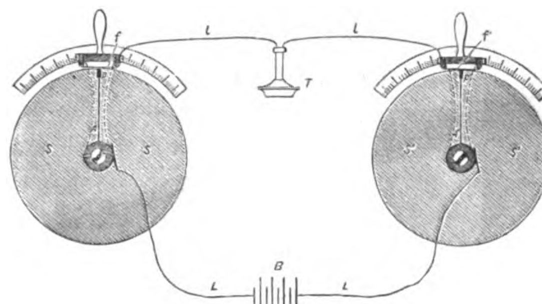


Fig. 1.

Sur l'arbre de chaque machine est monté un disque isolant (fig. 1) portant à sa circonférence un doigt métallique relié électriquement à l'arbre. Un bras portant un ressort peut être fixé dans la direction d'un rayon quelconque du disque.

Ce bras, terminé en fourche à la partie supérieure (fig. 2), porte, solidaire avec l'écrou K qu'une vis permet d'élever ou d'abaisser,

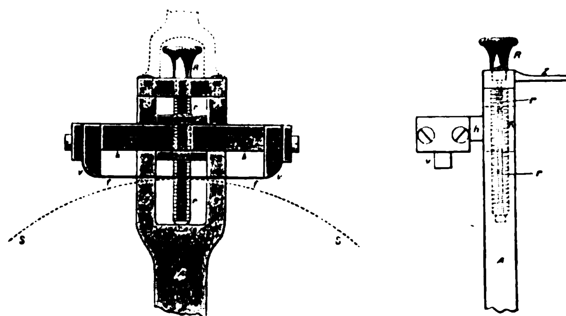


Fig. 2 et 3.

une lame de ressort, à laquelle on donne une position telle qu'à chaque tour elle vienne, pendant un instant très court en contact avec le doigt métallique du disque. Un index Z (fig. 3) se promenant sur une échelle de degrés permet de lire l'angle des positions relatives des deux bras.

Les deux axes des machines sont reliés par

une ligne contenant une pile B, tandis que les lames de ressort des bras sont en communication avec un téléphone T. Ce téléphone ne donne un son que lorsque les deux contacts se font simultanément aux deux machines, ce qui n'a lieu que lorsque les phases coïncident. En cas contraire, on tourne l'un des deux bras, jusqu'à ce qu'on entende dans le téléphone le bruit caractéristique de la coïncidence. L'angle dont on a dû faire tourner le bras est précisément l'angle de différence de phase entre les rotations des deux machines. A. H.

Chasse-neige et balayeuse électrique, par Ph. Dawson (1),

Nous avons déjà signalé, à maintes reprises, les chasse-neige employés en Amérique sur les lignes de tramways électriques. L'abondance des chutes de neige dans ces contrées et les conditions particulièrement défavorables dans lesquelles se fait la traction électrique lorsque les voies sont recouvertes de neige leur donnent une importance considérable. Nous trouvons dans la suite si intéressante d'articles publiés par M. Ph. Dawson, une excellente gravure de ces chasse-neige. Nous reproduisons ci-contre le type de balayeuse qui est employée sur les routes départementales ou dans les rues très larges. Il consiste en un truck très lourd

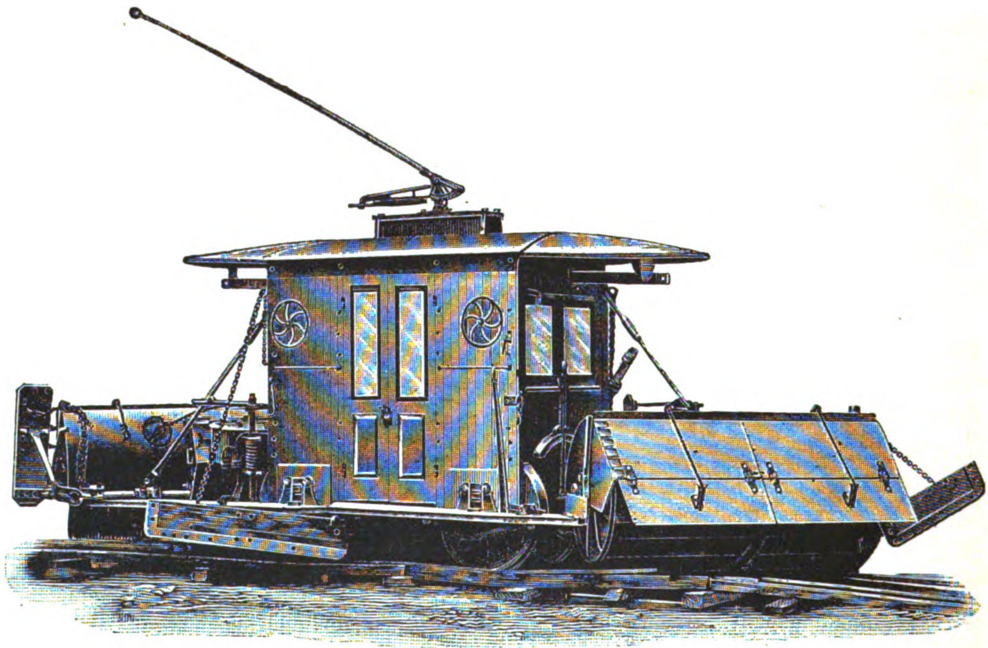


Fig. 1. — Chasse-neige et balayeuse électrique.

portant deux larges balais circulaires en fils métalliques et placés obliquement en avant et en arrière de la voiture ; ces balais sont mus par un moteur de 50 chevaux ; la voiture elle-même est entraînée par deux autres moteurs de 25 chevaux chacun. Des gratte-neige ordinaires sont en outre employés.

Pour les villes aux rues très fréquentées et où de grandes accumulations de neige ne doivent jamais rester sur la chaussée, on emploie un autre type qui consiste simplement en un wagon excessivement lourd, muni d'une paire de puissants moteurs qui l'entraînent, et de gratte-neige qui nettoient et les rails et la voie en rejetant la neige sur les côtés. On ne peut, avec cet appareil, ôter plus de 5 ou 7 cm. de neige à la fois. G. P.

(1) *Engineering*, 5 juillet 1895, p. 7.

La télégraphie quadruplex en Amérique, par Jul. H. West [1].

On sait qu'un grand nombre de lignes télégraphiques aux Etats-Unis sont desservies en quadruplex; la Compagnie Western Union Telegraph, par exemple, possède à elle seule 575 postes montés en quadruplex. Comme inventeurs du système appliqué on cite concurremment Edison et Nicholson, mais il n'est pas douteux que ce fut Edison qui rendit le système pratiquement utilisable. Son système présentait toutefois différentes imperfections qui pouvaient, dans des conditions de marche un peu difficiles, donner lieu à des dérangements. Dans ces dix dernières années de nombreux télégraphistes ont travaillé à la suppression de ces imperfections; leurs efforts ont été couronnés de succès, et le but de l'auteur est de présenter ceux d'entre les perfectionnements qui ont été adoptés récemment dans la pratique courante.

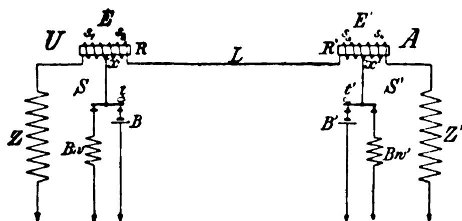


Fig. 1.

Il rappelle tout d'abord le principe du quadruplex d'Edison, qui a eu pour précurseur le système duplex basé sur deux méthodes différentes : le pont de Wheatstone et la méthode différentielle. Cette dernière, indiquée en 1854 par Frischen et par Siemens est celle dont nous nous occuperons; elle repose sur ce fait qu'un électro-aimant à deux enroulements parcourus par des courants de sens contraire et de valeur magnétomotrice égale, ne s'aimante pas.

Le schéma de la méthode est donné par la figure 1. U et A sont deux stations comportant chacune un récepteur E formé par un relais bifilaire, et un transmetteur S, composé d'une clef t et d'une pile B. En appuyant sur t, on envoie un courant vers x, où il se partage entre l'enroulement s_1 avec sa résistance Z, et l'enroulement s_2, la ligne L, le récepteur et la résistance Z' de la station A. Le relais R parcouru par des courants de sens inverses reste inactif; le relais R', au contraire, dans lequel les courants dans les deux bobines sont de même sens est aimanté et attire son armature.

Par conséquent, en appuyant sur la clef de la station U, on actionne le relais de la station A; lorsque les deux clefs sont abaissées simultanément les points x' et x sont au même potentiel; il n'y a donc pas de courant dans s_2, L et s_3; mais s_1 et s_4 donnent passage à des courants passant respectivement par Z et Z'. Les deux relais se trouvent donc actionnés à la fois.

Cette disposition permet donc dans tous les cas possibles de télégraphier de U en A et de A en U simultanément. Mais pour que l'action différentielle agissant sur chaque relais puisse annuler l'aimantation lorsque les courants sont de sens contraires, il est nécessaire que les deux enroulements exercent la même force magnétomotrice, et par suite que la résistance des deux dérivations par s_1 et Z, et par s_2, L et A soit invariable. Pour réaliser cette condition, le contact de repos de t' est relié à la terre à travers une résistance Bϖ' égale à la résistance intérieure de la pile B'. Les enroulements s_1 et s_2 ayant mêmes résistance et nombre de tours, il faut que $Z = L + A$ et $Z' = L + U$.

Cette méthode différentielle est appliquée sous deux formes différentes. La figure 2 montre le principe du système duplex de Stearn.

Le récepteur E est un relais non polarisé nR, fermant et rompant le circuit local d'un parleur K. Comme transmetteur on se sert d'une clef (*continuity preserving transmitter*) n'interrompant jamais le circuit. Dans le montage précédent, le circuit est rompu pendant un instant lorsqu'on manipule la clef t,

[1] Communication faite à la Société électrotechnique de Berlin, le 23 avril 1895.

de sorte que la résistance entre x et la terre varie. C'est ce qu'on évite, par l'emploi de la clef S (fig. 2). Au repos le circuit est fermé par x, le ressort f, le contact c_1, le levier h, la résistance Bw, et la terre. Quand l'électro e attire son armature, h vient toucher le butoir inférieur, le ressort f vient en contact avec c; le nouveau circuit va de x par fcB à la terre. Il y a donc toujours communication avec la terre, soit par B, soit par la résistance équivalente Bw; mais dans la course du levier h il

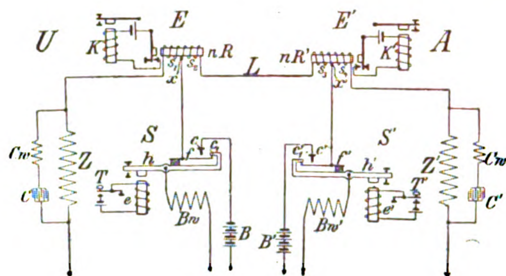


Fig. 2.

existe un instant pendant lequel le ressort f touche à la fois les deux contacts c et c_1. Pour abréger le plus possible la durée de ce double contact, la clef n'est pas manœuvrée à la main, mais par l'intermédiaire de l'électro e.

La capacité électrostatique de la ligne L fait que le courant dans cette branche croît plus vite que dans la branche dérivée Z ; pour compenser cet effet on place en dérivation sur Z un condensateur C, dont une résistance Cw permet de régler la constante de temps.

La figure 3 montre schématiquement le système duplex polarisé ; il ne diffère de celui de Steard que par l'emploi de courants de transmission de sens alternativement renversé. Comme transmetteur on emploie donc un inverseur de courant, et comme récepteur un relais polarisé pR. Le commutateur u permet de couper le circuit de la pile en U pendant le réglage des circuits à la station A.

Le tableau ci-dessous éclaircira le fonctionnement du système. En appelant pôle p_1 l'extrémité droite de s_1, pôle p_2 l'extrémité gauche

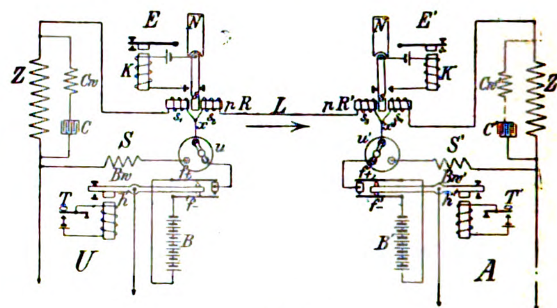


Fig. 3.

de s_2, pôle p_3 l'extrémité droite de s_3 et pôle p_4 l'extrémité gauche de s_4, le courant du sens indiqué produit en p_1 et en p_2 un pôle sud, en p_3 et p_4 au contraire un pôle nord. L'armature du relai pR est un pôle sud.

La clef T (ou T') est ouverte (o) ou fermée (f) ; le potentiel en x, pris pour unité, est + ou — selon que t est ouvert ou fermé. L'intensité du courant produit dans la bobine s_1 est supposée égale à 1. L'électro K est neutre (n) ou aimanté (a), selon que le pôle p_1 (ou p_4) est un pôle sud (s) ou un pôle nord (n).

CLEF		POTENTIEL EN		COURANT EN				POLARITÉ ET INTENSITÉ de pôle en				K	K'
t	t'	x	x'	s_1	s_2	s_3	s_4	p_1	p_2	p_3	p_4		
o	o	+ 1	+ 1	1 +	0	0	1 —	1 s	0	0	1 s	n	n
o	f	+ 1	— 1	1 +	2 —	2 —	1 +	1 s	2 s	2 n	1 n	a	n
f	o	— 1	+ 1	1 —	2 +	2 +	1 —	1 n	2 n	2 s	1 s	n	a
f	f	— 1	— 1	1 —	0	0	1 +	1 n	0	0	1 n	a	a

En combinant les deux montages (fig. 2 et 3,) nous obtenons le système quadruplex d'Edison représenté par la figure 4. Un poste de ce système se divise en quatre groupes : le récepteur polarisé pE, le transmetteur polarisé pS ; le récepteur neutre nE et le transmetteur

neutre nS. Sur le tout se greffe la dérivation locale Z, C, Cw.

Ces quatre groupes d'appareils sont réunis sur une même table, comme l'indique la figure, dans laquelle les traits en pointillé indiquent la séparation entre les groupes. Comme on le voit à l'inspection du montage, le groupe polarisé représente exactement le système duplex polarisé; par contre, le groupe neutre diffère en deux points de détail du duplex de Stearn; d'abord, par l'adjonction entre nR et K d'un second relais local R_1; ensuite par la disposition différente de la batterie B. Dans le montage de la figure 2, la pile était soit tout entière en circuit, soit complètement exclue; ici, on a, au contraire, en circuit une grande pile de 8 éléments ou une petite pile de 2 éléments. A cet effet, la pile B est divisée par un fil tp en deux parties inégales. La résistance Bw de la figure 2, de valeur égale à celle de 8 éléments de pile, est intercalée entre le point de séparation tp et le levier h.

Les deux bobines s_1 sont donc parcourues soit par le courant de deux éléments, soit par celui de 8. Or, le réglage des deux relais nR et pR est tel, que le courant de deux éléments

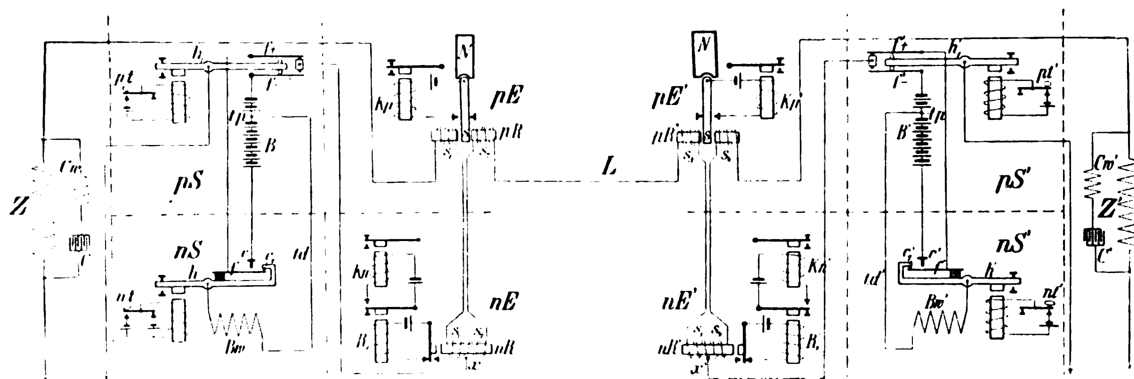


Fig. 4.

suffise pour actionner pR, mais soit trop faible pour faire attirer l'armature de nR. Pour pR, c'est le sens du courant qui détermine l'attraction; pour nR, au contraire, c'est l'intensité du courant; par conséquent, nR ne doit pas lâcher son armature lorsque, l'intensité restant la même, le sens du courant est inversé.

Le fonctionnement du système pourrait être représenté schématiquement conformément au tableau donné plus haut; il serait trop long de l'examiner en détail. Prenons seulement un exemple : quand toutes les clefs sont ouvertes, les 4 parleurs doivent être désaimantés. En fermant la clef pt, on doit actionner le parleur Kp' de l'autre station, et Kp' doit rester aimanté, tant que pt reste fermé, que les trois autres clefs soient ouvertes ou fermées; 8 combinaisons différentes peuvent ainsi se présenter, et dans tous les cas Kp' reste, en effet, aimanté. L'intensité du courant dans la bobine s_2 peut d'ailleurs varier entre 0 et 10, pR est tantôt actionné par la pile en U, tantôt par celle en A, le courant de celle-ci est + ou —; en un mot, le relais pR peut se trouver soumis à toute une série de forces magnétomotrices, sans que son armature se meuve. Il n'y a, en effet, guère dans tout le domaine des applications électriques de combinaison aussi élégante des actions électriques les plus variées que dans le système quadruplex d'Edison.

Le fonctionnement du système se complique d'ailleurs des effets d'autres facteurs encore, tels que les charges et décharges de la ligne et du condensateur. Ces facteurs jouent un rôle important, et c'est principalement pour se débarrasser des perturbations qu'ils introduisent qu'on a dû rechercher des perfectionnements.

Nous avons déjà dit un mot du premier de ces perfectionnements, dû à Edison, et rendant le système applicable dans des conditions normales ; c'est la disposition spéciale du relais neutre représentée par la figure 4. La charge de la ligne a pour effet de retarder les signaux : lorsque, après un courant —, la station A envoie un courant +, ce courant n'arrive pas à la station U immédiatement après la cessation du courant négatif, mais il se produit entre les deux un intervalle sans courant ; le relais neutre a alors le temps de se désaimanter et de laisser tomber son armature, ce qui donne lieu à un raté. Ce raté est caractérisé par le fait que l'armature du parleur, au lieu de frapper alternativement un butoir et l'autre, frappe deux fois de suite le butoir inférieur, parce que le ressort antagoniste ne peut ramener l'armature complètement sur son butoir de repos. Dans le montage (fig. 2), le circuit local du parleur est interrompu, dès que *n*R abandonne son armature ; il est donc préférable de relier la pile, non au contact antérieur, mais au contact postérieur, comme en figure 4. Le parleur K n'agit alors qu'après la chute complète de l'armature.

Mais par cette disposition, une autre cause d'erreur est introduite dans la transmission des signaux. Le parleur émet deux notes correspondant aux deux butoirs supérieur et inférieur. La note supérieure doit se faire entendre lorsque le courant venant de A vient de cesser, la note inférieure pendant l'émission du courant. Dans le montage de la figure 4 les signaux sont les inverses des précédents. On pourrait obvier à cet inconvénient en modifiant dans le sens voulu la construction du parleur ; mais pendant longtemps on a préféré inverser une deuxième fois les signaux en ajoutant le relais intermédiaire R_1.

Récemment, on a choisi un moyen plus simple, qui consiste à renverser les communications de la pile, de sorte que la pile entière se trouve intercalée, non pendant la fermeture, mais pendant l'ouverture de la clef *t*.

De cette manière, on a remédié, pour le fonctionnement du système sur les lignes courtes, à l'inconvénient de l'intervalle neutre entre deux courants. Mais sur les longues lignes, cet intervalle est tellement considérable, que le relais neutre laisse tomber complètement son armature. Si l'on donnait au moyen du relais une forte aimantation rémanente, on accélérerait bien la chute de l'armature, mais le courant suivant prendrait alors plus de temps pour renverser l'aimantation. Il est, au contraire, important que le magnétisme rémanent soit le plus faible possible,

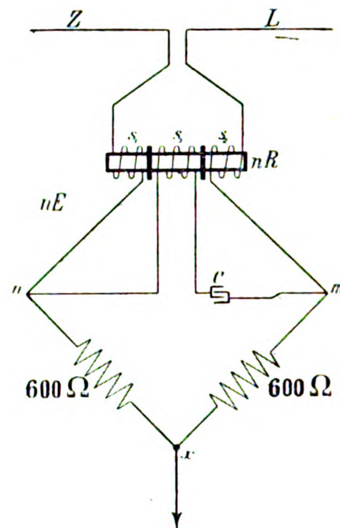


Fig. 5.

afin que le relais obéisse exactement à toutes les variations de courant. Aussi donne-t-on à ce relais la forme en fer à cheval avec noyaux très courts.

Il était donc nécessaire de chercher, pour l'emploi du quadruplex sur les longues lignes, d'autres remèdes. La figure 5 indique une disposition due à Gerritt Smith, qui ajoute aux enroulements s_1 et s_2 du relais neutre un troisième enroulement s_3 ; le point x (fig. 4) se trouve un peu déplacé, et l'on intercale entre ce point et les bobines s_1 et s_2 deux résistances de 600 ohms chacune. L'enroulement s_3 est relié d'une part directement avec l'extrémité de la bobine s_1, et d'autre part par l'intermédiaire d'un condensateur C avec l'extrémité intérieure de l'enroulement s_2.

Les points mn sont au même potentiel lorsque nous transmettons ; mais, lorsqu'au contraire un courant arrive de la ligne, ces points ne sont plus au même potentiel, le condensateur se charge par un courant ayant en s_3 le même sens que le courant de la ligne en s_2 et contribue à accélérer l'aimantation du noyau.

Quatre cas différents peuvent alors se présenter; nous pouvons avoir en x (fig. 4) un potentiel + ou — de 2 ou de 8 éléments. La disposition Smith doit éviter que nR n'abandonne son armature, pendant qu'à la station transmettrice la pile de 8 éléments est inversée; c'est-à-dire pendant qu'en x' le potentiel passe de — 8 à + 8. Il nous suffira

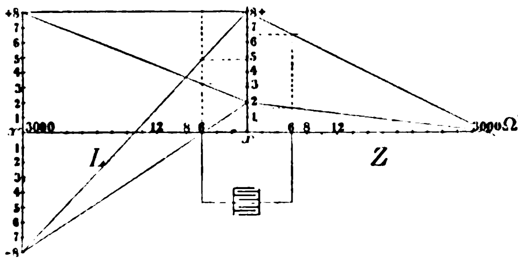


Fig. 6.

de considérer seulement deux cas sur les huit possibles, les autres étant analogues.

Ces deux cas correspondent à la variation de potentiel en x' de + 8 à — 8, pendant qu'il existe en x un potentiel de valeur + 8 ou + 2. Le diagramme (fig. 6) montre ce qui se passe dans ces deux cas. Au point x' on a porté en ordonnées les potentiels de — 8 à + 8 à la station A et au point x les potentiels de 0 à 8 de la station U. La droite horizontale représente la résistance comprise à gauche entre x et la terre, par L, et à droite entre x et la terre par Z.

Lorsque le potentiel est + 8 en x et + 8 en x', il est de + 8 en m, et d'environ + 6 en n; il y a donc une différence de potentiel chargeant C. Si le potentiel en x' prend ensuite la valeur — 8, celui en m tombe d'abord à 6 puis à 4; le condensateur se décharge donc d'abord, puis se recharge en sens inverse. Le courant de décharge et le nouveau courant de charge sont de même sens que le nouveau courant de ligne; tous les trois tendent à renverser la polarité de nR. Le rôle du troisième enroulement s_3 est donc d'amener l'inversion du relais dès la cessation du courant de ligne.

Dans le second cas, avec + 2 en x, le fonctionnement est analogue, avec cette différence que le potentiel en n est alors + 1,6 et de + 3 en m.

La figure 7 donne le mode d'enroulement du relais Smith. Chaque bobine porte trois enroulements 1, 2, 3. L'enroulement 1, intérieur dans une bobine, est relié à l'enroulement intermédiaire de l'autre, de façon que la

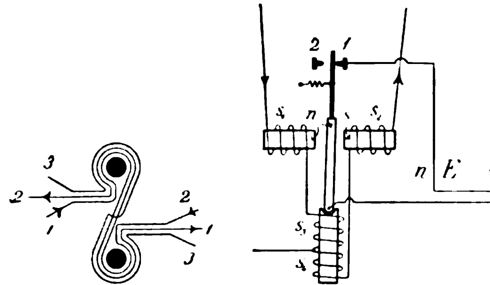


Fig. 7 et 8.

force magnétomotrice soit la même. Chaque enroulement est de 900 tours. Les enroulements 1 et 2 de chaque bobine ont chacun de 200 à 225 ohms, le troisième est de 400 ohms pour chaque bobine.

Cette disposition a satisfait pendant longtemps aux conditions de la pratique; mais les lignes augmentant constamment en nombre, on s'est vu obligé, dans les grandes villes, de les placer sous terre au détriment naturellement de la rapidité de transmission des signaux. La capacité des lignes étant ainsi devenue plus forte, le condensateur du système Smith se décharge bien avant l'arrivée du courant de ligne suivant. Dans ces derniers temps, le relais Smith a été peu à peu remplacé par le relais indiqué par S.-P. Freir.

Ce dispositif (fig. 8) est en principe un relais neutre, affectant la forme ordinaire d'un relais polarisé, avec cette différence qu'à l'aimant

permanent est substitué un électro-aimant $s_3 s_4$ intercalé entre s_1 et s_2. Avec un courant du sens indiqué sur la figure, l'extrémité libre de l'armature *n* est un pôle nord et se trouve donc repoussée à droite. Quand on change le sens du courant, la polarité de *n*, s_1 et s_2 est renversée, et l'armature est donc encore attirée vers la droite ; elle ne retourne à gauche que lorsque l'intensité du courant tombe au-dessous d'une certaine valeur.

Ce relais donne dans la pratique les résultats les plus satisfaisants ; on l'emploie couramment comme relais neutre. La sûreté de son fonctionnement est principalement due à sa faible

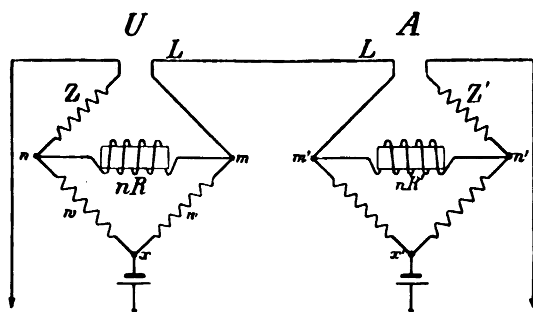


Fig. 9.

self-induction et l'hystérésis négligeable de son noyau.

En ce qui concerne la méthode du pont, elle n'est appliquée à la télégraphie en duplex que sur les câbles. Toutefois, on en a utilisé certaines propriétés pour le montage du quadruplex Edison. Nous en avons déjà vu un exemple dans la disposition Smith (fig. 5).

On sait que dans la méthode du pont les circuits sont disposés comme l'indique la figure 9. Le courant émis par la station U ne peut jamais actionner son propre relais *n*R ; car quelle qu'en soit l'intensité ou le sens, il n'y a pas de différence de potentiel entre les points *m* et *n* si les résistances *ww* des deux bras sont égales. Le courant arrivant de la station A traverse au contraire toujours le relais de la station U.

Wick utilise un montage analogue au pont de Wheatstone (fig. 10). Il remplace tout d'abord le relais neutre *n* R de la figure 4 par un relais polarisé, tandis que le relais neutre ordinaire est introduit dans la diagonale *mn*. Ce relais *n*R présente intentionnellement une certaine hystérésis. L'armature *a* occupe la position indiquée lorsqu'un courant positif vient de la ligne L ; ce courant traverse alors la bobine 2 du relais neutre, et produit l'aimantation *ns* indiquée. Un courant négatif subséquent fait pivoter à gauche l'armature *a* qui envoie ce courant dans la bobine 1 du relais *n*R, lequel conserve par suite le sens de son

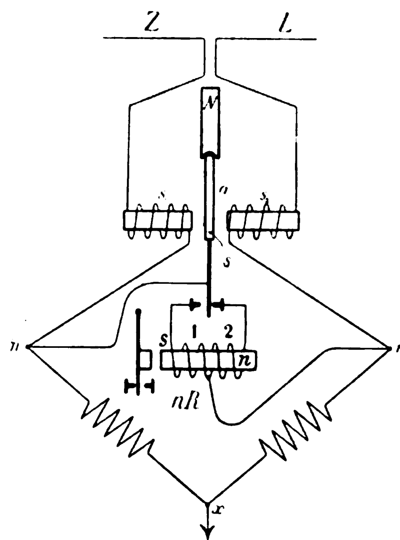


Fig. 10.

aimantation primitive. C'est en cela que réside l'heureuse application de l'idée de Wick ; car, l'aimantation du relais n'oscille plus comme dans les dispositions précédentes entre + 8 et — 8 en passant par zéro, mais seulement entre + 2 et + 8. Il est donc très facile d'empêcher la chute de l'armature, il suffit pour cela de donner au noyau une aimantation rémanente assez considérable. La self-induction même du relais agit favorablement, en empêchant le courant, après son inversion et avant que l'armature du relais polarisé ait eu le temps d'agir, d'amener une inversion de polarité du relais neutre. Ce système fonctionne depuis deux ans d'une façon parfaite sur une ligne de Chicago à New-York (1600 km).

Nous venons de passer en revue les perfec-

tionnements les plus essentiels apportés au système quadruplex d'Edison. Il nous reste à dire quelques mots sur la substitution aux piles primaires des machines dynamo que la télégraphie américaine tend à généraliser. Il n'est guère probable que les administrations télégraphiques européennes adoptent d'une façon générale ces sources d'énergie électrique en remplacement des piles, mais plusieurs d'entre elles ont recours aux accumulateurs, et comme les mesures particulières à prendre dans ce cas sont peu différentes de celles que nécessite l'emploi des dynamos, il peut être intéressant d'étudier le mode d'application

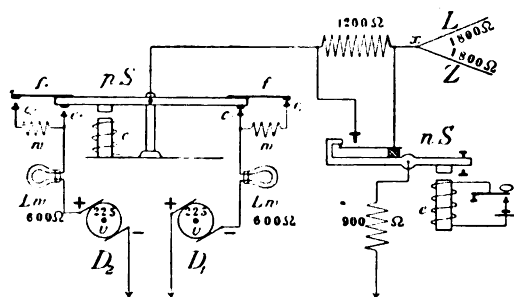


Fig. 11.

usité en Amérique pour la transmission en quadruplex.

La figure 11 montre la disposition employée par la Western Union Telegraph C°; et la figure 13 le système de la New-York Quotation C°.

La première de ces Compagnies se sert de deux dynamos D_1 et D_2 fournissant un courant à 225 volts ; l'une donne du courant +, l'autre du courant —. Entre chaque dynamo et les contacts $c+$, $c-$ de son inverseur de pôles est intercalée une résistance Lw de 600 ohms formée de lampes à incandescence. Au lieu de la clef à circuit continu, qui mettrait les dynamos en court circuit, on se sert d'un commutateur à ressort $f+$ et $f-$ portant sur les contacts c_1+ et c_1-. Entre c_1+ et $c+$ est intercalée une résistance w, de même entre c_1- et $c-$. Quand l'électro attire le levier de ce commutateur, l'extrémité gauche de celui-ci vient s'appliquer sur $c+$; mais l'inertie des ressorts est réglée de telle façon que le contact c_1- ne se rompe que juste au moment où le contact $c+$ s'établit. On arrive ainsi à diminuer considérablement les étincelles aux contacts, tout en assurant la continuité du circuit.

Le transmetteur neutre est, dans ce système, d'une disposition particulière. Le voltage des sources de courant est constant; or, il s'agit d'envoyer dans la ligne un courant tantôt d'une intensité 1 tantôt d'une valeur 3, et cela sans changer la résistance entre le point x des montages précédemment étudiés et la terre. S. D. Field, l'inventeur du système, a résolu ce problème d'une façon ingénieuse. Il emploie deux résistances de 1 200 et de 900 ohms, que le transmetteur intercale alternativement. Dans ces deux cas possibles, les résistances totales se composent ainsi :

$$600 + 1\,200\,(x) + \begin{cases} 1\,800 \\ 1\,800 \\ 900 \end{cases} = 600 + 1\,200\,(x) + 450 \text{ ohms}$$

ou

$$600\,(x) + \begin{cases} 1\,800 \\ 1\,800 \end{cases} = 600\,(x) + 900 \text{ ohms.}$$

Le potentiel en x est dans l'un des cas de 45 volts, dans l'autre de $135 = 3 \times 45$ volts, et les intensités de courant sont donc dans le rapport 1 à 3.

La résistance entre x et la terre reste la même. En effet, dans la position indiquée sur la figure nous avons de x à la terre :

$$\begin{cases} 1\,200 + 600 \\ 900 \end{cases} = 600 \text{ ohms,}$$

et dans l'autre position de nS une résistance unique de 600 ohms.

La Postal Telegraph C° (fig. 12) emploie quatre dynamos, dont deux fournissent par exemple 120 volts, les deux autres 360 volts. Les fils 1 et 2 sont reliés par le commutateur pS soit avec les dynamos + ou avec les dynamos —, et le transmetteur neutre nS met ensuite la ligne sur le fil 1 ou sur le fil 2.

Entre les dynamos et leurs contacts sont intercalées des résistances de 1 000 ohms, en maillechort.

Enfin, le système de la N.-Y. Quotation C°

(fig. 13), dû à C. L. Healy, emploie deux dynamos de 225 volts. Au point de partage *tp* le potentiel est alors de 75 volts. Si la résistance à la droite de h_1 vers la terre est de 900 ohms, nous avons, lorsque $h +$ et $h -$ sont appliqués sur leurs contacts respectifs $c +$ et $c -$, un courant de

$$\frac{225 \text{ volts}}{266 + 900 \text{ ohms}} = \frac{225}{1\,166} \text{ ampères,}$$

et lorsque les contacts $c_1 +$ et $c_1 -$ sont fermés :

$$\frac{75}{\left.\begin{matrix}800\\400\end{matrix}\right\} + 900} = \frac{75}{1\,166} \text{ ampères.}$$

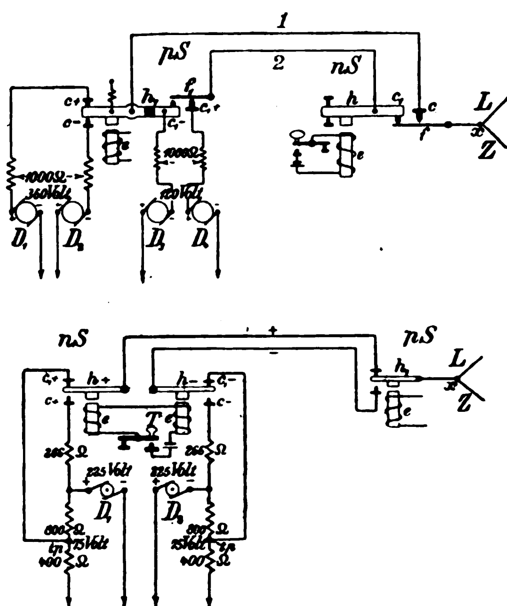


Fig. 12 et 13.

Les intensités de courant sont donc dans le rapport 3 : 1, et les résistances sont égales, condition essentielle à remplir. A. H.

REVUE DES SOCIÉTÉS SAVANTES

ET DES

PUBLICATIONS SCIENTIFIQUES

Unités magnétiques.

Au meeting d'Oxford de l'Association britannique, le professeur O. Lodge s'était chargé, sur la demande du Comité des étalons électriques, de réunir les matériaux nécessaires à une discussion approfondie des unités magnétiques. Le mémoire qu'il a élaboré vient d'être publié par *The Electrician;* il contient une série de propositions et de questions sur lesquelles les intéressés sont invités à fournir leur avis. Voici les principaux points à signaler :

1° Il est désirable que l'unité de coefficient de self-induction, quoique souvent utile, ne soit en aucune façon considérée comme une unité fondamentale, mais soit définie par les relations qui la subordonnent aux autres quantités plus importantes.

2° La définition serait mauvaise si elle offrait un obstacle quelconque à l'emploi du même terme pour le plus possible d'autres quantités ayant les mêmes dimensions, par exemple, pour l'unité de coefficient d'induction mutuelle et pour l'unité de « perméance ».

3° Les quantités essentiellement différentes désignées communément par $\mathcal{H}$ et $\mathfrak{B}$ devraient avoir des unités bien distinctes, quoique leurs valeurs dans l'air soient par convention numériquement égales.

4° La première quantité à dénommer est le *potentiel magnétique*, appelé quelquefois *force magnétomotrice*, quantité que les ingénieurs mesurent en ampères-tours. On a proposé le terme *gaussage*, et pour son unité C. G. S. le nom de *gauss*.

5° Le gaussage autour d'une courbe fermée serait alors 4π fois le courant électrique total traversant l'espace embrassé par cette courbe.

6° Le gaussage ou la chute des gauss, dans une partie *a b* d'un circuit magnétique, est mesuré par la variation d'énergie potentielle qu'éprouve l'unité pôle en se déplaçant de *a* en *b*, ou plus pratiquement par l'induction dans un tube étroit aboutissant en *a* et *b*, divisée par la perméance de ce tube.

7° L'intensité de champ magnétique $\mathcal{H}$, sera naturellement équivalente à la chute de gauss par centimètre. Par exemple, l'intensité horizontale du magnétisme terrestre en un lieu donné est de 0,18 gauss par centimètre (1).

(1) Il ne devrait pas être exprimé par le nombre de

8° La chute de gauss le long d'un solénoïde magnétique fermé de longueur l, enroulé uniformément de n tours de fil, parcourus par un courant I_1 est $\frac{4\pi n I_1}{l} = 4\pi n_1 I_1$, en désignant par n_1 le nombre de tours par centimètre.

C'est là la mesure de $\mathcal{H}$ à l'intérieur du solénoïde, quelle que soit la nature du noyau.

9° La seconde quantité à laquelle il s'agit de donner un nom est l'*induction totale* dans un circuit magnétique, également appelée « flux total, nombre total de lignes de force », etc. C'est la quantité dont la variation dans l'unité de temps détermine le voltage induit dans une sphère qui l'entoure. On propose de donner à l'unité pratique le nom de *weber*, définie comme étant égale à 10^8 lignes C. G. S. d'induction.

10° Si l'induction à travers une surface varie à raison de 1 weber par seconde, la f. é. m. excitée dans une spire embrassant cette surface est de 1 volt.

11° Si l'induction à travers une spire traversée par un courant de 1 ampère est de 1 weber, l'énergie potentielle du circuit est de 1 joule.

12° La densité d'induction $\mathfrak{B}$ peut être exprimée en webers par centimètre carré.

Par exemple, la densité d'induction horizontale du magnétisme terrestre en un lieu donné est de 0,18 unité C. G. S. $= 0{,}18 \times 10^8$ webers par cm^2.

13. L'inductivité (μ) ou la perméabilité absolue d'un milieu en un point donné est le quotient de $\mathfrak{B}$ par $\mathcal{H}$ en ce point et dans les conditions spécifiées.

(Cette quantité pourrait être exprimée en henrys ou d'autres unités de perméance par unité de longueur. Par exemple, l'inductivité de l'air serait de 1/100 de microhenry par centimètre).

On la mesure d'une façon plus explicite en webers par cm^2 divisés par la chute de gauss par cm.

14° L'inductivité relative d'un milieu comparée à celle du vide $\left(\frac{\mu}{\mu_0}\right)$ peut être appelée simplement, comme on le fait déjà, la « perméabilité » de ce milieu, et est un nombre.

(Son analogue électrique est la capacité inductive spécifique $\left(\frac{K}{K_0}\right)$, opposée au pouvoir inducteur absolu (K), qui peut être défini en unités pratiques comme le quotient des coulombs déplacés par unité de surface, par la chute de potentiel par unité de longueur).

15° En troisième lieu, il serait utile de donner un nom au rapport entre les deux unités fondamentales, le weber et le gauss. En Amérique, on a décidé de donner à cette unité le nom du professeur Henry, de Washington, mais on n'est pas encore d'accord sur la définition précise.

Il existe deux quantités ayant mêmes dimensions physiques auxquelles ce nom est applicable ; ce sont le coefficient de self ou d'induction mutuelle, et la perméance ou l'inverse de la réluctance d'un circuit magnétique.

L'ordre logique serait de définir d'abord la perméance comme le quotient des webers d'induction au gaussage inducteur, et de dire que l'inductance d'une bobine de n spires est n^2 ou $4\pi n^2$ ou $0{,}4\pi n^2$ fois la perméance du circuit magnétique qu'elle embrasse, selon les unités de gaussage et de courant adoptées.

Si ces unités sont les unités C.G.S., le facteur numérique reliant l'inductance à la perméance est $4\pi n^2$.

Si l'unité C.G.S. de gaussage est employée avec l'ampère, le facteur devient $0{,}4\pi n^2$.

Mais si comme unité pratique de gaussage on adopte le $\int \mathcal{H} dl$ dû à *un ampère-tour*, le facteur en question est simplement n^2 ; et la perméance d'un cylindre, au lieu d'être $\frac{\mu S}{l}$ est $\frac{4\pi\mu S}{10 l}$.

---

lignes de force par cm^2; cette expression devrait être réservée pour la densité de l'induction $\mathfrak{B}$. $\mathcal{H}$ est la cause et doit être regardé comme la chute de potentiel magnétique par unité de longueur; $\mathfrak{B}$ est l'effet. Dans un milieu dit de perméabilité 1, ces deux quantités sont numériquement égales, mais ne doivent pas être confondues; pas plus que la chute de potentiel électrique par unité de longueur ou intensité de champ ne doit être considérée comme identique avec la densité de courant, même dans un milieu de conductibilité égale à l'unité.

La simplicité apparente de ce dernier système se recommande pour la pratiqne, quoiqu'il complique la définition de la perméance et celle du champ et du potentiel magnétique.

PREMIER SYSTÈME

Commençons avec le système le plus logique.

Dans un circuit magnétique fermé le quotient de l'induction totale par le gaussage correspondant est appelé la « perméance » de ce circuit. En général, cette quantité n'est pas constante.

Ou encore, la perméance d'une portion solénoïdale d'un circuit magnétique est donnée par le nombre de webers divisé par le nombre de gauss entre ses extrémités.

16° L'unité pratique de perméance est celle d'un circuit dans lequel un weber est induit par un gauss. Sa réciproque donne l'unité de réluctance. L'unité pratique ainsi définie est égale à 10^8 unités C.G.S.

17° Une bobine de fil enlaçant n fois un circuit magnétique fermé de perméance = 1 présente $0{,}4\pi n^2$ unités d'inductance. (La perméance peut être variable.)

18° L'unité C.G.S. d'inductance est égale à n fois l'induction produite dans une bobine par l'unité C.G.S. de courant dans chaque spire ; et l'unité pratique d'inductance est n fois le nombre de webers excités par l'ampère. L'unité pratique d'inductance est de 10^9 unités C.G.S. ; elle est appelée le « henry ».

Autre définition de l'inductance dans le premier système. — 19° Quand de deux circuits simples, l'un est traversé par un courant, l'autre est soumis à une induction, le quotient de l'induction produite dans l'un par le courant inducteur de l'autre est appelé l'inductance des circuits.

20° Pour deux bobines à n et n' tours, l'inductance mutuelle est nn' fois l'inductance d'un tour moyen de l'une sur un tour moyen de l'autre.

21° L'inductance mutuelle de deux bobines est $4\pi nn'$ fois la perméance du plus grand solénoïde magnétique qui traverse les deux bobines. Car si chaque tour de fil de l'une est parcouru par un courant I, tandis que chaque tour de l'autre embrasse un flux Φ', il s'ensuit que la perméance du solénoïde magnétique embrassé par la seconde bobine est $\mathfrak{P} = \frac{\Phi'}{4\pi n I}$ mais l'induction mutuelle totale MI dans toutes les spires étant $n'\Phi'$, on a $M = 4\pi nn'\mathfrak{P}$.

22° Lorsque deux bobines traversées par un ampère sont constamment reliées par une inductance mutuelle d'un henry, l'énergie cinétique du champ dû à leur action mutuelle est d'un joule.

23° Si l'on considère le coefficient de self-induction d'une bobine, son inductance mutuelle est n^2 fois l'inductance d'une spire moyenne, c'est-à-dire n fois l'induction totale divisée par le courant inducteur. Les webers-tours par ampère donnent donc la self-inductance en henrys.

24°. L'unité pratique d'inductance, soit self ou mutuelle, est nommé un henry; et une bobine de n tours exerce une inductance d'un henry, sur elle-même ou sur une autre bobine de n' tours, quand un ampère dans l'une produit une induction de $\frac{1}{n'}$ weber en elle-même ou dans l'autre.

25°. Lorsque l'induction dans une bobine varie à raison d'un weber par seconde, la f. é. m. engendrée dans une spire est d'un volt.

26°. Lorsque l'inductance d'une bobine est d'un henry, exercée sur elle-même ou sur une autre bobine, une variation de courant d'un ampère par seconde induit en elle ou dans l'autre une f. é. m. d'un volt.

27°. Lorsque l'inductance d'une bobine traversée par un ampère varie à raison d'un henry par seconde, la f. é. m. induite est d'un volt.

28°. Lorsque la self-inductance d'une bobine est constamment, ou en moyenne, d'un henry, pendant qu'un courant d'un ampère y est engendré, l'énergie cinétique du champ dû à cet ampère est d'un demi-joule.

SECOND SYSTÈME

29°. Si, au lieu d'égaler le gauss à l'unité C. G. S. de potentiel magnétique, nous prenons pour unité pratique de force magnétomotrice le $\int \mathcal{H}\, dl$ dû à un ampère-tour, nous avons un ampère-tour $= \frac{10}{4\pi}$ unités C. G. S. de gaussage.

30°. L'unité pratique de perméance est alors celle dans laquelle une induction totale d'un weber est produite par chaque ampère-tour; en d'autres termes, elle est de $4\pi \times 10^7$ unités C. G. S. de perméance.

31°. Et l'unité pratique d'inductance est celle d'une bobine dans laquelle un ampère induit $\frac{1}{n}$ d'un weber dans chaque tour, c'est-à-dire que l'inductance d'une bobine est ainsi, n^2 fois la perméance du circuit magnétique qu'elle embrasse.

32°. Il n'y a entre l'inductance et la perméance qu'une différence numérique. La perméance s'exprime en webers par ampère-tour, l'inductance en webers-tours par ampère.

Avantages de ce mode de définition de l'unité d'inductance. — La caractéristique de cette définition du « henry », c'est qu'elle fait dépendre l'inductance du quotient $\frac{\Phi}{I}$. On pourrait l'exprimer par le quotient $\frac{d\Phi}{dI}$, ce qui mettrait en évidence sa variabilité; mais on perdrait certains avantages pratiques, tels que sa relation simple avec la perméance.

On dit quelquefois, mais en s'exprimant d'une façon peu correcte, qu'il y a trois principes différents d'après lesquels on peut définir L, mais conduisant à des résultats différents :

(1) Induction totale $\Phi = LI$

(2) Force électromotrice $E = L \frac{dI}{dt}$.

(3) Energie $W = \frac{1}{2} LI^2$.

Mais les faits réels sont exprimés par les formules suivantes :

(1) $\Phi = LI$.

(2) $E = \frac{d\Phi}{dt}$.

(3) $dW = I d\Phi$.

L'essentiel est donc de dénommer d'abord Φ; et si 10^8 unités C. G. S. forment un « weber », ou un « weber-tour », un volt n'est autre chose qu'un weber ou weber-tour par seconde, et un joule est un weber-ampère-tour. Rien n'est plus commode, et un henry peut être défini comme un weber-tour par ampère.

Au lieu de dire qu'il y a trois façons de définir L, il est plus simple de remarquer que deux équations sur les trois données en dernier lieu sont incorrectes, excepté dans les cas assez rares où L est constant.

Les équations exactes sont : (¹)

(1) $\Phi = LI$.

(2) $E = L \frac{dI}{dt} + I \frac{dL}{dt}$.

(3) $W = \frac{1}{2} LI^2 + \frac{1}{2} \int_0^I I^2 dL$.

Il est évident que les expressions (2) et (3) sont trop compliquées pour servir de base à une définition, et la première seule donne un système pratique.

Le fait que L n'est en général pas constant enlève au henry l'importance que possède, par exemple, l'ohm ; de plus, il se rapporte à une chose spéciale, une bobine de fil, et dans des conditions spécifiées lorsque la bobine contient du fer; il serait donc absurde de lui donner un nom de préférence aux autres unités magnétiques.

La création d'un nom spécial à l'unité d'induction totale (flux) est d'utilité pratique, puisque cette quantité est principalement en cause, dans la construction des dynamos, par exemple. Il conviendrait aussi de donner

(¹) M. Boucherot et M. Blondel ont porté cette question devant la Société des électriciens (avril 1893). Voir à ce sujet *La Lumière Electrique* t. XLIX, p. 84, et t. XLIX, p. 373 et 451 et le *Bulletin* de la Société des électriciens.

un nom à l'unité de potentiel magnétique, puisque les ingénieurs en montrent l'utilité par l'emploi constant du terme ampère-tour.

L'auteur ne se prononce pas sur le choix entre deux définitions du gauss : unité C. G. S. ou ampère-tour.

Dans des notes supplémentaires il donne l'opinion de M. F. G. Baily et celle de M. Everett.

Il ajoute aussi qu'il convient d'examiner s'il ne serait pas préférable de définir L comme égal à $\frac{d\Phi}{dI}$, avec la perméabilité $\mu = \frac{d\mathcal{B}}{d\mathcal{H}}$. M. Heaviside est partisan de ce système.

A. H.

Sur quelques expériences avec des courants alternatifs, par A. Sadowsky (¹).

A propos du mémoire de M. Griffiths, analysé dans ces colonnes il y a quelques mois (²), M. Sadowsky adressait, en mars dernier, aux éditeurs du *Philosophical Magazine* la lettre suivante.

« Dans le n° 238 de votre estimable journal, M. Griffiths a publié un mémoire, intitulé « Quelques expériences avec les courants alternatifs », dans lequel il décrit quelques expériences faites avec une spirale de bismuth de Lenard. J'ai étudié ce même sujet en 1892-1893 et j'ai obtenu les résultats suivants, qui s'accordent bien avec ceux de M. Griffiths.

1° Lorsque la spirale de bismuth est placée dans un champ magnétique intense, on n'obtient jamais un silence absolu dans le téléphone mais seulement un minimum de son.

2° La distribution superficielle des courants alternatifs est sans influence sur la résistance du bismuth.

3° Cette résistance dépend de la phase du courant.

« Les résultats qui suivent sont semblables à ceux de M. Griffiths, mais ne leur sont pas absolument identiques.

1° La spirale de bismuth possède une propriété analogue à la self-induction mais qui *ne lui est pas équivalente.* J'ai essayé de représenter les faits par la formule hypothétique

$$r = r_0\left(1 + \frac{\lambda}{i}\frac{di}{dt}\right),$$

où r est la résistance pour un courant constant, i l'intensité du courant, λ un coefficient constant positif, r la résistance apparente (mesurée avec un pont de Wheatstone et un téléphone). D'après cette formule r doit être toujours plus grand que r_0, conclusion qui ne s'accorde pas avec les résultats des expériences de Lenard, de Zahn et de moi-même.

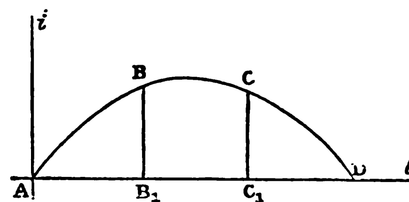


Fig. 1.

2° Avec un courant de 500 fréquences environ et avec un champ magnétique nul, j'ai observé la variation de résistance déjà constatée par MM. Lenard et Zahn ; dans ces conditions la résistance était de 0,1 p. 100 plus faible qu'avec un courant constant.

« En outre j'ai établi ce qui suit :

« La variation de résistance n'est pas due, comme l'admet M. Lenard, à des courants de fréquences élevées, 10 000 fréquences par exemple. Supposons en effet que les ordonnées de la courbe ABCD (fig. 1) représentent l'intensité du courant et les abscisses le temps. Divisons la courbe en trois portions AB, BC, CD telles que l'on ait approximativement $AB_1 = B_1C_1 = C_1D$ et mesurons la résistance avec les courants AB, BC, CD ; en appelant ρ_1, ρ_2, ρ_3 les valeurs respectives de cette résistance j'ai obtenu expérimentalement :

(*a*) sans champ magnétique et avec une fréquence 4 — 6,

$$\rho_1 = \rho_2 = \rho_3.$$

(¹) *Philosophical Magazine*, t. XXXIX, p. 377, avril 1895.

(²) A. Griffiths. *Phil. Mag.* t. XXXIX, p. 229-254. — *Ecl. Elect.*, t. III, p. 138 et 180.

(*b*) avec un champ magnétique intense et avec la même fréquence 4 — 6

$$\rho_1 > \rho_2 > \rho_3,$$

Dans ce dernier cas, en prenant ρ_2 comme

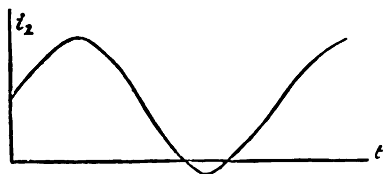


Fig. 2.

unité, j'ai trouvé les nombres suivants pour les résistances de quatre spirales :

$\rho_1 =$	$\rho_3 =$
1,0045	0,0927
1,0037	0,9938
1,0030	0,9940
1,0036	0,9943

« En prenant les courants représentés par les figures 2 et 3 et mesurant également ρ_1, ρ_2, ρ_3, j'ai trouvé comme dans le cas précédent

$$\rho_1 > \rho_2 > \rho_3,$$

mais les différences $\rho_1 - \rho_2$ et $\rho_2 - \rho_3$ sont alors beaucoup plus petites qu'avec le courant ABCD.

« Ma méthode de mesure des résistances ρ_1, ρ_2 et ρ_3 était analogue à celle de M. Griffiths.

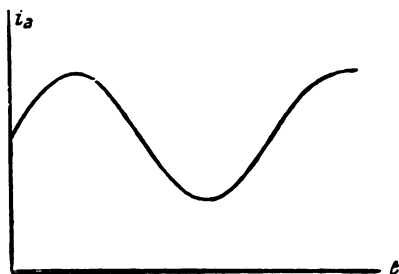


Fig. 3.

Le courant alternatif était produit par une petite machine magnéto mise en mouvement par un moteur électrique. Ce courant était lancé dans un pont de Wheatstone dont l'une des branches était constituée par une spirale de bismuth. La branche galvanométrique contenait un contact double, intermittent et automatique (mis en rotation par la machine magnéto produisant le courant alternatif), fermant le circuit du galvanomètre pendant les intervalles de temps correspondant à AB ou BC, BC ou CD, et permettant ainsi de comparer immédiatement ρ_1 avec ρ_2, et ρ_2 avec ρ_3.

« Au début de mes recherches je me servais d'un téléphone pour mesurer la résistance du bismuth non soumis à l'action d'un champ magnétique et parcouru par le courant d'un inducteur de Kohlrausch. Comme interrupteur je prenais une roue dentée mue par un moteur électrique; la fréquence des interruptions variait entre 92 et 2088. La différence de résistance variait avec la fréquence entre 0,12 et 0,27 p. 100. »

Ajoutons que les expériences de M. Sadowsky ont été décrites dans un mémoire publié par le *Journal de la Société physico-chimique russe* (t. XXVI, p. 81-156; 1894) et qu'une analyse assez étendue de ce mémoire a été récemment donnée par M. Sagnac dans le *Journal de Physique* (3e série, t. IV, p. 186; 1895). Rappelons aussi que dans l'article « Sur la résistance au courant variable » M. Sagnac a essayé d'expliquer, au moyen de l'énergie mise en jeu par l'aimantation longitudinale et l'aimantation transversale, quelques-uns des résultats indiqués dans la lettre ci-dessus.

J. B.

Un effet électromagnétique, par F.-W. Bowden (1).

Dans cette note l'auteur expose certains faits curieux qu'il a observés en effectuant, sous la direction du professeur Perry, quelques expériences suggérées par M. Larmor.

Les appareils employés consistaient en un électro-aimant produisant entre ses pôles un champ magnétique d'environ 1 100 unités C.G.S et un tube de verre A de 4 mm. de diamètre interne et 30 cm. de longueur rempli de mercure et traversé par un courant d'environ 40 ampères ; au milieu de ce tube était soudé

(1) *Phylosophical Magazine*, t. XL, p. 200, août 1895.

normalement un petit tube de 2 mm. de diamètre que nous appellerons B.

L'électro-aimant étant disposé de façon que les lignes de force du champ compris entre ses pôles soient horizontales, et le tube étant placé dans ce champ, horizontalement et perpendiculairement aux lignes de force, on observait dans le tube vertical B une dénivellation, changeant de sens avec le sens du courant traversant le tube et avec le sens des lignes de force. La grandeur de cette dénivellation dépendait d'ailleurs de la position du tube A dans le champ. Quand ce tube était placé, entre les deux pôles, dans le plan horizontal passant par le milieu de la hauteur des pièces polaires, elle atteignait 15 mm. Elle diminuait quand on soulevait le tube et n'était plus que de 10 mm. quand le tube se trouvait dans le plan horizontal passant par les extrémités supérieures des pièces polaires.

Le tube A étant dans cette dernière position, on tournait l'électro-aimant de 90 degrés de de manière à rendre verticales les lignes du champ. On constatait alors que le niveau s'élevait toujours dans le tube B (situé maintenant parallèlement aux lignes de force), quels que fussent le sens du courant et le sens des lignes de force.

Replaçant alors l'électro-aimant dans sa position primitive, M. Bowden recourba le tube B en forme de L, de manière que sa soudure avec A soit sur le côté de ce dernier, et que, par suite, l'une des branches du tube en L soit dans la direction des lignes de force comme dans l'expérience précédente. Le mercure s'élevait encore dans la branche verticale du petit tube quels que fussent le sens du courant et celui des lignes de force.

Dans une dernière expérience, M. Bowden soudait au milieu de A quatre tubes de plus faible diamètre ; l'un droit B était soudé à la partie supérieure de A ; l'autre C, en U, était soudé à la partie inférieure, enfin les deux autres D et E, en L, étaient soudés latéralement. Pour une certaine direction du courant, le mercure montait dans B et s'abaissait dans C, tandis qu'il s'élevait dans D et E, mais seulement momentanément pendant la période d'établissement du courant. Quand on renversait le courant, le mercure s'abaissait dans B et s'élevait dans C, en même temps qu'il montait momentanément dans les deux tubes soudés latéralement.

L'auteur n'a pas trouvé l'explication de ces résultats. J. B.

BIBLIOGRAPHIE

Jahrbuch der Elektrochemie (*Annuaire de l'électrochimie*), par W. Nernst et W. Borchers. — *W. Knapp*, éditeur, Halle. a. S.

L'électrochimie possède depuis peu plusieurs organes qui enregistrent au jour le jour les progrès incessants accomplis dans cette branche de l'industrie et de la science. Voici maintenant un annuaire uniquement consacré à ce sujet. Les auteurs, bien connus par leurs travaux, l'un sur le terrain purement scientifique, l'autre dans le domaine des applications se sont partagés la tâche de rapporter en les classant avec méthode les progrès apportés dans le courant de l'année dernière.

Dans ce premier volume d'un ouvrage destiné à paraître annuellement, il était indiqué de jeter un coup d'œil sommaire sur l'état actuel de l'électrochimie; c'est ce qui a été fait par M. Nernst pour la partie scientifique et par M. Borchers pour les applications.

Il faut bien convenir que la sélection que chacun est obligé de faire, entre les diverses spécialités sur lesquelles se fixe l'attention, n'a pas permis à beaucoup d'électriciens de suivre les acquisitions nouvelles que la chimie industrielle doit à l'électricité, ni surtout de s'assimiler les vues théoriques nouvelles dans l'ignorance desquelles il est impossible de collaborer utilement au développement de ce domaine plein d'avenir.

On saura donc gré au Dr Nernst d'avoir, avec une clarté et une concision remarquables,

exposé en quelques pages la théorie actuelle de l'électrolyse. Partant du principe de la dissociation électrolytique, appuyé par la loi de van t'Hoft sur la pression osmotique dans les solutions diluées, l'auteur montre comment il est possible de calculer les différences de potentiel au contact de deux liquides ou d'un liquide avec un métal. Il expose le rôle que jouent la diffusion des ions et leurs attractions électrostatiques, ainsi que la constante diélectrique des milieux dans lesquels agissent ces ions, chargés à des potentiels évalués jusqu'à 20 000 volts, et rappelle la théorie moderne de la pile.

Cette partie scientifique est condensée en une soixantaine de pages ; tout le reste de l'ouvrage, qui comporte 274 pages, est consacré aux nouvelles applications :

Production de l'énergie électrique : par les machines spéciales pour l'électrolyse et par les piles. M. Borchers donne ici son appréciation sur la possibilité de consumer le charbon directement pour la production d'une force électromotrice, problème dont lui-même avait donné récemment une solution.

Accumulateurs : perfectionnements nouveaux et théorie.

Traitement électromagnétique de minerais.

Appareils et procédés électrothermiques : Divers types de fours électriques, chauffage par l'arc et par l'effet Joule.

Production et raffinage des métaux et métalloïdes, galvanoplastie.

Industrie du chlore et des alcalis.

Application de l'électrolyse à l'analyse chimique, méthodes et appareils nouveaux.

Electrolyse des composés inorganiques et organiques.

Blanchîment et désinfection.

Teinture et tannage.

Dans toutes ces catégories on trouve des descriptions minutieuses des appareils industriels et de laboratoire avec plus de 150 figures. L'intérêt de ces descriptions réside dans leur nouveauté, car on ne les trouvait auparavant que dispersées dans les journaux. Deux tables de matières, l'une analytique, l'autre par ordre alphabétique, et une table de noms d'auteurs rendent aisées les recherches dans ce livre, dont l'exécution matérielle ne prête pas à critique.

A. Hess.

CHRONIQUE

Le chasse-neige électrique. — Il est doux, par cette saison, de s'occuper d'un sujet aussi réfrigérant. La *Semaine Electrique* se livre à cet exercice, en faisant la proposition suivante :

Dans les localités qui possèdent des tramways, on pourrait adapter à ces voitures ce qui est d'un usage courant en Amérique.

Les plates-formes ordinaires y sont remplacées, en hiver, à l'avant et à l'arrière, par deux cylindres, munis de balais métalliques.

Un tablier empêche la neige de retomber sur la voie après le passage du rouleau, et la repousse sur les côtés en ouvrant ainsi la piste de l'endroit.

Ces cylindres à balais sont actionnés par deux moteurs indépendants l'un de l'autre qui leur communiquent à la volonté du conducteur un mouvement de rotation pouvant aller de 600 à 1 200 tours à la minute. Ce sont des engrenages d'une grande simplicité qui permettent de régler cette vitesse suivant la résistance et l'épaisseur de la neige.

Bien entendu, le tramway circule dans les deux sens et parcourt la même route jusqu'à ce que le déblaiement soit complet et la voie parfaitement libre.

Espérons qu'en France, pour l'hiver prochain, nous verrons fonctionner le chasse-neige électrique à Paris et dans les grandes villes de province dotées de tramways.

Les incendies et l'électricité. — D'après un article du professeur Barret analysé dans l'*Electrical World*, l'ensemble des pertes dues aux incendies causés par l'électricité ne s'élèveraient pas, à Chicago à plus de 40 000 francs. Le plus grand danger dans les installations électriques réside dans la concurrence ruineuse que se font les constructeurs et les monteurs; sur 61 incendies, un grand nombre étaient dus à des fils défectueux ou avariés. Il pense qu'il n'y a pas de raison pour admettre que

des installations électriques ordinaires augmenteraient les risques d'incendies. Il ajoute que le bois devrait être complètement banni des parties des instruments sur lesquelles des circuits actifs sont directements montés; les reproductions photographiques d'instruments brûlés qu'il publie appuient cette conclusion.

La traction électrique à Rome. — On a décidé il y a quelques mois la création à Rome d'un réseau de tramways électriques; ce projet est en ce moment en pleine période d'exécution; nous apprenons, en effet, que la grande avenue qui va de Porta Salaria à la rue de Porta Pinciana est entièrement bouleversée par les travaux de terrassement nécessités par l'établissement de la voie. Ces travaux sont déja très avancés et, une fois terminés, on procédera à l'installation de la ligne sur laquelle la *Semaine Électrique* donne les détails suivants :

Les rails, d'un type spécial, ont été fabriqués en Belgique; un grand soin est apporté à l'ajustage, tant au point de vue mécanique qu'électrique des tronçons. Une grande remise a été construite à la *via Dogali* sur les plans de l'architecte, M. Fucci; elle servira de dépôt aux cinq voitures automobiles destinées au service de la traction sur cette nouvelle ligne. Chaque voiture est pourvue de deux électromoteurs Thomson-Houston de 18 kw.; ils sont munis d'un contrôleur qui permet d'obtenir, suivant les besoins, des vitesses très différentes. L'Etat a fixé à la Société d'exploitation (*Compagnie des Omnibus et Tramways*) une vitesse maxima de 14 km. par heure le long de l'avenue en droite ligne, via Boncompagni-Ludovisi, vitesse qui ne doit pas être dépassée. Le ministère des Travaux publics a voulu prendre ses garanties, sauf à accorder ensuite après expérience une vitesse supérieure.

A côté de la remise de la *via Dogali* a été construit un bâtiment spécial où est installé un transformateur. Cette petite usine reçoit, en effet, le courant alternatif à haute tension de la ligne de Tivoli appartenant a la Société Anglo-Romaine d'Éclairage; un électromoteur branché sur cette ligne actionne une génératrice Thomson-Houston à courant continu qui fournit le courant aux voitures automotrices. Grâce à cette solution si simple, l'usine génératrice sera rapidement installée, et si les travaux sont poursuivis avec le même entrain que l'on a mis à les commencer, il y a tout lieu de croire que l'inauguration de la nouvelle ligne aura lieu le 20 septembre prochain.

Nous apprenons qu'il serait également question d'appliquer l'énergie électrique à la traction des voitures sur la ligne de tramways de la *via Nazionale à Saint-Pierre.*

Transbordeurs électriques pour gares. — C'est un grand ennui pour le public que le transport dans les gares des bagages entassés sur les petites voitures que l'on connaît, poussées par les hommes d'équipe suant d'ahan, tonitruantes sur l'asphalte des quais. Passe encore pour les petites gares, mais dans les grandes, le moyen est en vérité par trop primitif. On propose avec raison de leur substituer des ponts roulants aériens ou transbordeurs électriques roulant sur des rails fixés aux charpentes des grands halls. Ce système vient d'être essayé à la gare Victoria, de Manchester, et il a donné d'excellents résultats. Le conducteur placé sur le chariot électrique circule impassible au-dessus de la tête des voyageurs, s'arrête au point voulu, enlève ou dépose les bagages sans que l'on s'en aperçoive.

Ce système très ingénieux donne des résultats excellents et va être étendu à d'autres gares. Nous nous étonnerons seulement, avec notre confrère *Engineering*, que les ingénieurs des Compagnies de chemins de fer n'aient pas eu plus tôt une idée aussi simple.

Développement du système métrique aux États-Unis. — La Société des ingénieurs mécaniciens de New-York recommande à ses membres d'abandonner les systèmes arbitraires de jauges actuellement en vogue, et de n'employer pour les diamètres et les épaisseurs que les jauges basées sur le système métrique décimal.

Ces recommandations concordent avec une décision analogue prise récemment par le gouvernement ottoman, qui rend obligatoire à bref délai, l'emploi du système métrique dans tout l'empire.

En Angleterre aussi, comme nous l'avons plusieurs fois signalé, les partisans de ce système ne tarderont pas à le faire prévaloir.

L'Éditeur-Gérant : GEORGES CARRÉ.

Paris. — Imprimerie L. MARETHEUX, 1, rue Cassette.

Tome IV. Samedi 31 Août 1895. 2e Année. — N° 35.

L'Éclairage Électrique

REVUE HEBDOMADAIRE D'ÉLECTRICITÉ

DIRECTEUR SCIENTIFIQUE : J. BLONDIN

SECRÉTAIRE DE LA RÉDACTION : G. PELLISSIER

NOUVEAUX ANALYSEURS HARMONIQUES

Il y a un an, nous avons déjà décrit [1] un certain nombre d'instruments permettant d'analyser une fonction périodique quelconque en déterminant les amplitudes et les phases des différentes composantes sinusoïdales. Le premier instrument de ce genre, combiné par lord Kelvin, servit à ce savant à chercher dans le mouvement des marées les divers termes périodiques qui permissent d'en découvrir les causes. Beaucoup de phénomènes physiques mériteraient une analyse de ce genre, et en ne nous écartant pas de l'électricité, nous pouvons dire qu'une lacune considérable sera comblée le jour où l'analyse harmonique des courants périodiques sera d'un usage général. On s'occupe, il est vrai, aujourd'hui plus que jamais de la forme qu'affectent, par exemple, les courants alternatifs employés dans l'industrie, et en Allemagne on prend même l'excellente habitude de joindre aux descriptions des installations les courbes exactes des courants dont on fait usage. Mais que fait-on de ces renseignements ? Il est bien rare que les divers éléments en soient discutés d'une manière approfondie : une courbe présentant de nombreuses ou de grandes aspérités est déclarée s'écarter beaucoup de la sinusoïde, alors qu'elle peut en être bien plus proche, qu'une autre courbe d'un caractère moins accidenté. Tout dépend de l'amplitude et de la phase des différentes composantes ; faute de connaître ces éléments, il est difficile de se livrer à une discussion sérieuse des résultats pratiques ; nous n'en voulons pour exemple que la polémique habile mais soutenue sans résultat utile par les ingénieurs américains et anglais à propos des déformations des sinusoïdes de courants alternatifs.

On s'explique dans une certaine mesure cette abstention de la part des ingénieurs par la longueur du travail d'analyse ; mais c'est précisément pour leur éviter les opérations trop laborieuses que différents mathématiciens ont combiné des instruments menant au résultat par des procédés mécaniques. Les descriptions que nous avons données de différents analyseurs dans notre précédent article nous dispensent d'en reproduire longuement la théorie ; rappelons seulement leur but.

Une fonction périodique quelconque $y = f(x_1)$ développée en série de Fourier s'écrit :

$$y = A_1 \sin x + A_2 \sin 2x + \dots + A_n \sin nx + \dots$$
$$+ \frac{1}{2} B + B_1 \cos x + B_2 \cos 2x + \dots B_n \cos nx + \dots$$

avec

$$x = \frac{2\pi}{\theta} x_1,$$

θ étant la période fondamentale.

L'amplitude d'un quelconque des termes sinus est donnée par

$$A_n = \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} y \sin nx \, dx,$$

[1] *La Lumière Électrique* du 23 juin 1894, p. 551.

l'amplitude d'un terme cosinus, par

$$B_n = \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} y \cos nx \, dx.$$

Les instruments analyseurs ont pour but d'effectuer mécaniquement ces intégrations, la fonction y étant donnée sous forme de courbe. Mais on peut aussi faire usage du procédé graphique suivant.

En remplaçant sin $nx\,dx$ par d X, il s'agit

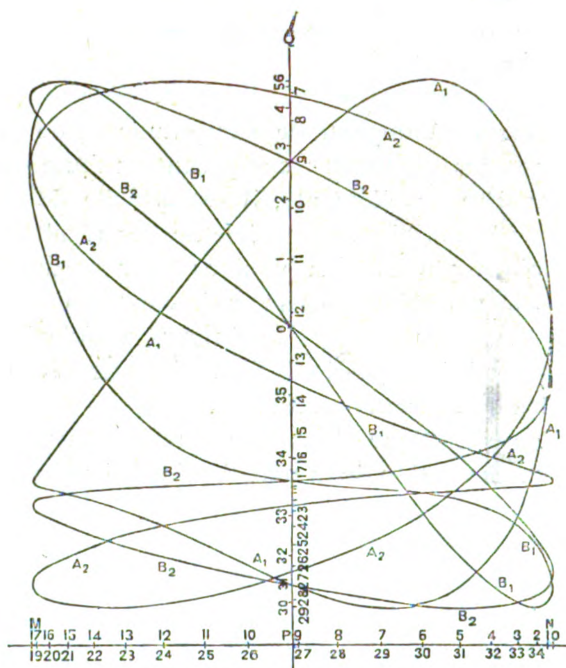


Fig. 1.

simplement d'évaluer la surface d'une courbe ayant pour ordonnées y et pour abscisses correspondantes X, la nouvelle variable étant liée à x par la relation

$$X = \frac{1}{n}\left(1 - \cos nx\right).$$

Si donc, d'une longueur donnée on retranche successivement les projections de cette longueur sur une droite, sous les différents angles nx, on obtient les ordonnées correspondantes X de la courbe dont l'intégration donnera le coefficient A_n. Le coefficient B_n se déterminera de même, mais en projetant sur une droite perpendiculaire à la première.

Ce procédé indiqué par Clifford, est appliqué comme suit par le professeur Perry [1].

Divisons la période en 36 parties égales et supposons données les valeurs de la fonction à ces instants. Pour trouver le premier coefficient A_1 de la série de Fourier, choisissons (fig. 1) une longueur M N comme diamètre d'un cercle, dont la circonférence de 36 cm. de longueur est divisée en 36 parties égales marquées 0, 1, 2, 3... 35. Des perpendiculaires abaissées de tous ces points sur le diamètre donnent sur M N les points correspondants.

Sur une verticale P Q on porte successivement les valeurs de la fonction aux instants 0, 1, 2. En élevant des perpendiculaires sur deux points correspondants de ces deux axes, on obtient à l'intersection de ces perpendiculaires un point de la courbe A_1. Celle-ci peut donc être déterminée par 36 de ses points. En la planimétrant, et en divisant la surface obtenue par 18, on trouve la valeur de A_1.

B_1 s'obtient d'une manière analogue. On prend comme

Ordonnées sur PQ	0	1	2	3	4	etc.
Abscisses sur MN	9	10	11	12	13	etc.

L'aire de la courbe B_1 ainsi déterminée, divisée par 18, donne la valeur de B_1.

Pour trouver A_2 :

Ordonnées sur PQ	0	1	2	3	4	etc.
Abscisses sur MN	0	2	4	6	8	etc.

et pour B_2 :

Ordonnées sur PQ	0	1	2	3	4	etc.
Abscisses sur MN	9	11	13	15	17	etc.

Dans ces deux derniers cas, l'aire de la courbe est à diviser par 36.

En général, si la circonférence du cercle dont M N est le diamètre a l cm. de longueur, les diviseurs successifs des aires des courbes sont, pour A_n et B_n : $\frac{n}{2} l$. Les points sur M N servant à trouver A_n sont marqués 0, n, $2n$, $3n$, etc. ; et pour B_n ils sont numé-

[1] *The Electrician*, 28 juin 1895, p. 285.

rotés $\frac{c}{4}, \frac{c}{4} + n, \frac{c}{4} + 2n$, etc., c étant le nombre d'ordonnées données ($c = 36$ dans notre exemple).

La série de Fourier peut encore se mettre sous la forme :

$$y = \frac{1}{2} B_0 + C_1 \sin(x + \alpha_1) + C_2 \sin(2x + \alpha_2) + \ldots$$

en posant

$$C_1 = \sqrt{A_1^2 + B_1^2}$$

et

$$\operatorname{tg} \alpha_1 = \frac{B_1}{A_1}.$$

Sous cette forme, le professeur Perry avait donné à ses étudiants une courbe à analyser par le procédé graphique que nous venons d'indiquer. En 1 heure 3/4 l'un d'eux trouva :

$$y = \frac{1}{2} B_0 + 5{,}003 \sin(x + 20^\circ{,}38) + 1{,}97 \sin(2x - 9^\circ{,}9).$$

Le problème comportait comme solution exacte :

$$y = \frac{1}{2} B_0 + 5 \sin(x + 20^\circ) + 2 \sin(2x - 10^\circ).$$

La construction précédente pourrait, en somme, être remplacée par ceci : la courbe serait enroulée sur un cylindre dont la circonférence aurait la longueur de la période. Il suffirait alors d'opérer une projection parallèle sur deux plans perpendiculaires dont l'un passerait par l'ordonnée à l'origine de la période, pour obtenir les deux courbes fournissant A_1 et B_1. Pour un terme quelconque A_n, la même courbe serait à enrouler sur un cylindre de diamètre n fois moindre, ou encore sur le premier cylindre, mais en prenant une échelle d'abscisses n fois plus grande.

Il nous semble que, la courbe étant tracée sur du papier à calquer et enroulée sur un cylindre transparent, on pourrait en plaçant l'axe du cylindre normalement aux rayons solaires, tracer sur un écran translucide l'ombre de la courbe, dont il suffirait ensuite d'évaluer la surface. Ce procédé serait plus expéditif, quoique moins précis que le précédent. La photographie du cylindre à l'aide d'un objectif aplanétique serait peut-être le procédé le plus pratique.

Tout en conservant la construction par éléments sucessifs, M. Udny Yule (1) rend le procédé plus mécanique en se servant de la disposition indiquée par la figure 2. A B C D est un carré de carton pouvant glisser le long de la règle D R placée parallèlement à l'axe des abscisses de la courbe. Le long d'une autre règle collée sur le carton peut glisser le carré de carton E F G, muni d'un traceur T et d'une

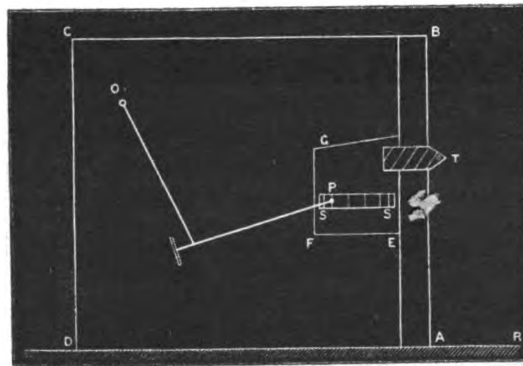


Fig. 2. -- Procédé de M. Udny Yule.

échelle de sinus S S. Le point fixe d'un planimètre est placé en O sur le carton ; sa pointe mobile se trouve en P.

On divise la base de la courbe en parties égales, par exemple, de 6° chacune, et l'on élève les ordonnées y_1, y_2, etc., au milieu de ces éléments. Amenons le traceur T au sommet de y_1 et plaçons simultanément la pointe P du planimètre sur le sinus de 6° de l'échelle SS. Passons ensuite avec T au sommet de y_2 et avec P sur le sinus de 12°, et continuons ainsi jusqu'à l'autre extrémité de la courbe ; puis, revenons au point de départ.

La pointe du planimètre aura alors décrit un polygone, dont la surface sera :

$$\begin{aligned} &y_1 \sin(6^\circ - \sin 0^\circ) \\ +\, &y_2 \sin(12^\circ - \sin 6^\circ) \\ +\, &y_3 \sin(18^\circ - \sin 12) + \ldots\ldots \end{aligned}$$

(1) *Phil. Mag.*, t. XXXIX, p. 373, avril, 1895.

La roulette du planimètre indiquera donc approximativement

$$\int y\, d\,(\sin x),$$

c'est-à-dire qu'elle nous fournira le coefficient B_1. Pour obtenir B_2, il suffirait de déplacer la pointe P de 12 en 12°, au lieu de 6 en 6°.

Sur ce principe M. Udny Yule a combiné un intégrateur continu, dont la figure 3 donne le schéma. Le centre K d'un disque se meut le long de la courbe ; sa circonférence roule en même temps sans glissement sur une droite XX parallèle à l'axe des abscisses et pouvant se déplacer verticalement mais non horizontalement. La circonférence du disque est une

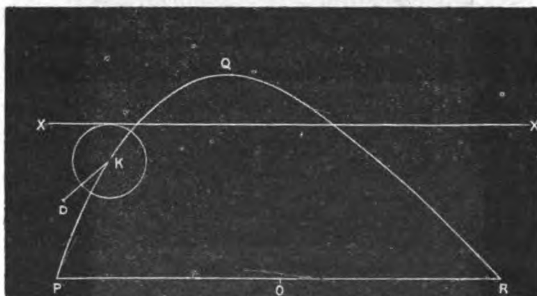


Fig. 3. — Schéma de l'analyseur Udny Yule.

fraction aliquote $\frac{\theta}{n}$ de la base PR. Au départ lorsque K coïncide avec P, le rayon $KD = r$ du disque se trouve dans le prolongement de PR.

Comme l'angle dont aura tourné le disque en suivant une longueur θ sur XX est $2n\pi$, il tournera de $\frac{2n\pi}{\theta} x_1$ en parcourant une distance horizontale x_1. Par conséquent, si x_1 et y sont les coordonnées de K en un point quelconque de son parcours, les coordonnées X et Y du point D auront pour expression

$$X = x_1 - r \cos n\pi \cos nx$$
$$Y = y - r \cos n\pi \sin nx.$$

L'aire de la courbe tracée par D est donc

$$R_1 = \int y dx_1 - r \cos n\pi \int y d\,(\cos nx) + r \cos n\pi \int \sin nx dx_1 - r^2 \int \sin nx d\,(\cos nx).$$

Ces deux dernières intégrales disparaissent quand on prend pour limites celles de la courbe fermée. En appelant S la surface de la courbe initiale PQR, nous obtenons

$$R_1 = S + \cos n\pi .\, nr \int_{-\frac{\theta}{2}}^{+\frac{\theta}{2}} y \sin nx dx.$$

De même, si au départ D se trouve sur le diamètre vertical, nous trouvons

$$R_2 = S + \cos n\pi .\, nr \int_{-\frac{\theta}{2}}^{+\frac{\theta}{2}} y \cos nx dx.$$

Il sera évidemment commode de prendre pour r quelque multiple de $\frac{1}{\pi}$ centimètres, par exemple 10. Il viendrait alors :

$$R_1 = S + \cos n\pi .\, 10n\, A_n$$
$$R_2 = S + \cos n\pi .\, 10n\, B_n.$$

Ces deux équations contiennent toute la théorie de l'instrument. L'aire de la courbe D peut être obtenue de deux manières. On peut fixer au disque en D un crayon et tracer la courbe pour la planimétrer ensuite ; ou bien, on peut effectuer l'intégration directement en fixant au point D la pointe d'un planimètre. C'est ce dernier procédé qu'a adopté M. Yule dans son instrument représenté par la figure 4.

Un rouleau porte la règle XX de la figure 3 dont le poids est contrebalancé par un bloc de métal. Le bord de la règle est découpé en crémaillère. Le disque de la figure 3 est remplacé par une série de roues dentées de diamètres différents et dont les nombres de dents sont respectivement 240, 120, 80, etc. Chaque roue est percée de trois ouvertures recouvertes de glaces portant en leur centre des marques qui permettent de prendre la ligne de base. Une cavité conique pratiquée sur le disque, sur une normale à la ligne de base, peut recevoir la pointe d'un planimètre Amsler ordinaire. Les petits disques ont cette cavité sur un bras solidaire avec la roue dentée, qui est de plus

petit rayon que la distance de la cavité au centre ; un disque plus grand placé sur le même axe que la roue dentée sert à prendre la base.

Cet instrument peut servir avec des courbes tracées sur 30 cm. de base ; la crémaillère présente 8 dents au centimètre ; on peut employer le planimètre Amsler du modèle ordinaire avec un bras de 16 cm.

La course de la règle est limitée de deux manières : d'abord par la portée du planimètre, en second lieu, par le risque de la rencontre entre la molette et la crémaillère. Les courbes à analyser doivent donc être

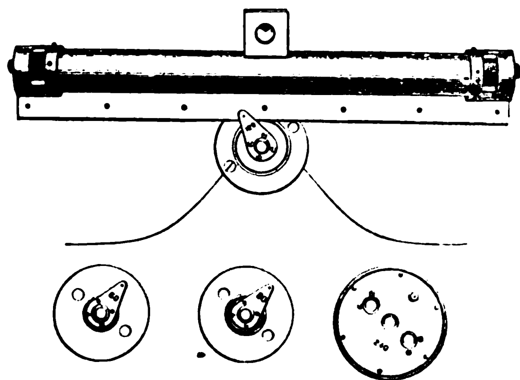


Fig. 4. — Analyseur Udny Yule.

dessinées à une échelle modérée, mais l'amplitude admissible varie avec le type de courbe. Si elle est du type (1) de la figure 5, l'amplitude peut être de 10 cm. ; mais si elle est du type (2) de la même figure, il faut employer une échelle beaucoup moindre.

La précision de l'instrument dépend de celle du planimètre. Voici un exemple de détermination :

La courbe était construite sur la donnée suivante :

$$y = 3{,}13 + 4{,}60 \cos x + 1{,}82 \cos 2x + 0{,}30 \cos 3x + 0{,}045 \cos 4x.$$

L'analyseur a fourni :

$$y = 3.14 + 4{,}58 \cos x + 1{,}84 \cos 2x + 0{,}39 \cos 3x + 0{,}042 \cos 4x.$$

Il nous reste à décrire l'analyseur A. Sharp [1], qui est le seul permettant de déterminer en une seule opération l'amplitude et la phase d'un terme, c'est-à-dire soit C_n et α_n dans

$$C_n \sin (nx - \alpha_n),$$

soit A_n et B_n dans

$$A_n \sin n\alpha + B_n \cos n\alpha.$$

La courbe est tracée (fig. 6) avec une échelle d'abscisses telle que la période soit 2π. Supposons qu'une roulette W roule sur le papier et soit reliée à un traceur P (fig. 6) de telle manière que lorsque P se déplace dans la direction OX, l'axe de la roue W tourne

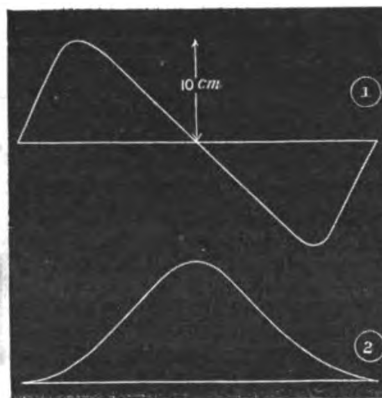


Fig. 5.

dans un plan horizontal, et que la distance parcourue par la circonférence de la roue soit égale au déplacement correspondant du traceur P dans la direction OY. Si l'axe de la roue W fait un tour complet pendant que le traceur P parcourt une période complète de la courbe (fig. 6), le point de contact de la roue décrira une courbe $Opp'R$ (fig. 7).

Soit OY' (fig. 7) la direction initiale du plan de la roue, correspondant à l'abscisse zéro du traceur (fig. 6). Soit P un point quelconque de la courbe figure 6 et p le point correspondant de la courbe figure 7. P' et p' sont deux points correspondants infiniment près de P et p. $p'q$ et pq étant respectivement parallèles aux axes de coordonnées, on a

$$pp' = P_1P' = dy$$
$$p'q = pp' \sin x = \sin x dy$$
$$pq = pp' \cos x = \cos x dy.$$

[1] *Phil. Mag.*, t. XXXVIII, p. 121, juillet 1894.

En abaissant du point R, position de p pour $x = 2\pi$, une perpendiculaire RR′ sur OY′ on a encore

$$RR' = \Sigma p'q = \int_0^{2\pi} \sin x dy$$

$$OR' = -\Sigma pq = -\int_0^{2\pi} \cos x dy.$$

Nous avons montré dans notre précédent article que

$$\int \cos x dy = \int_0^{2\pi} y \sin x dx = \pi A_1$$

et

$$\int \sin x dy = \int_0^{2\pi} y \cos x dx = \pi B_1$$

et comme, en outre,

$$\operatorname{tg} \alpha_1 = -\frac{B_1}{A_1} \quad \text{et} \quad C_1^2 = A_1^2 + B_1^2$$

dans

$$C_1 \sin (x - \alpha) = A_1 \sin \alpha + B_1 \cos \alpha,$$

on voit que

$$OR' = -\pi A_1 ; \quad RR' = -\pi B_1 ; \quad OR = \pi C_1$$

et l'angle

$$Y'OR = \alpha_1.$$

Si l'axe de la roue W faisait n tours pendant le parcours d'une période complète, les valeurs correspondantes de OR et de l'angle Y′CR seraient $n\pi C_n$ et α_n.

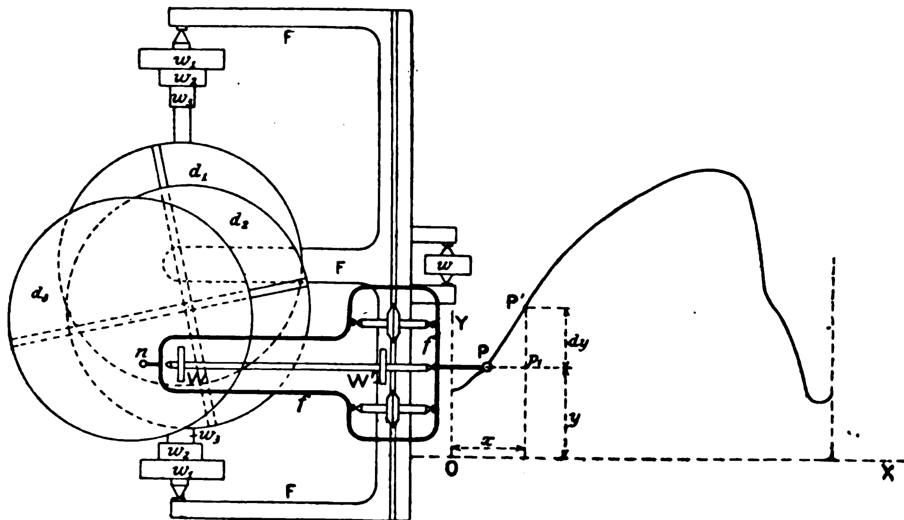


Fig. 6. — Analyseur A. Sharp.

Divers mécanismes peuvent être employés pour relier la roulette au traceur dans les conditions voulues ; la disposition suivante est une des meilleures, parce qu'elle permet d'adapter l'instrument à la détermination de plusieurs termes harmoniques au lieu d'un seul.

Le mouvement de la roulette par rapport au papier se compose de deux mouvements simples : 1° Un roulement sur la distance dy égale à l'élément décrit par le traceur P ; 2° un mouvement de rotation dont le point de contact de la roue avec le papier est le centre, et qui parcourt un angle proportionnel à l'abscisse x du point P. Le mouvement relatif sera donc le même, si l'on fait rouler la roue le long d'une droite fixe dans l'instrument pendant que l'on fait tourner le papier ; le centre de rotation du papier étant le point de contact avec la roue.

Le chariot FF (fig. 6), qui forme la base de l'instrument, est supporté par un axe portant deux roues égales w_1 w_1 et une troisième roue w dont le roulement sur le papier s'opère dans la direction OX. Un disque d_1 monté sur un axe vertical est mû à l'aide de roues d'angle par l'axe $w_1 w_1$. Un doigt fixé à la surface supérieure de ce disque pénètre dans une rainure à la surface inférieure du disque d_2, qui

est donc libre de se mouvoir en ligne droite par rapport au disque d_1. Une rainure à la partie supérieure du disque d_2 à angle droit avec la rainure inférieure reçoit un doigt fixé sous le disque d_2. De cette façon, le disque d_2 tourne toujours avec le disque d_1, quoiqu'un point quelconque de d_2 puisse devenir centre de rotation.

Le traceur P est monté sur un plus petit chariot *f*, libre de se mouvoir dans la direction OY par rapport au chariot principal. Ce petit chariot porte aussi la roulette W qui roule sur le disque d_2. Pour assurer le roulement de W on a monté sur le même axe une

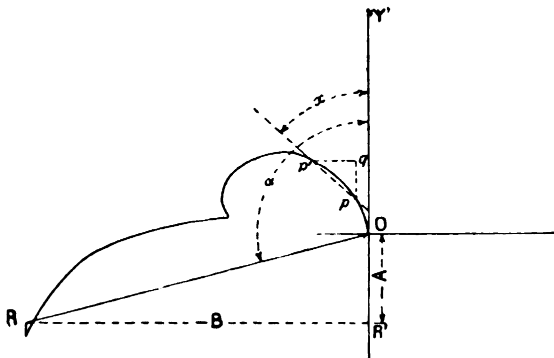


Fig. 7.

roulette W', en contact avec une partie fixe du chariot FF.

Le disque d_2 doit faire un tour pendant que le traceur P décrit une période complète. Si, sur des rails plats posés sur le papier, on fait rouler des paires de roues égales $w_2 w_2$, $w_3 w_3$, etc. de diamètres $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{3}$ ... de w_1 on obtient successivement les valeurs de $C_2 \alpha_2$, $C_3 \alpha_3$, etc.

L'avantage de cet instrument est, comme nous l'avons dit, qu'il fournit en même temps l'amplitude et la phase de chaque terme. Sa construction paraît être assez simple ; M. Sharp annonce d'ailleurs avoir créé un modèle simple et compact, dont il n'a pas encore donné la description. Mais l'analyseur qui nous semble le plus maniable et le moins compliqué parmi ceux présentés jusqu'à ce jour, est celui combiné par M. Udny Yule.

Après avoir relu, dans *La Lumière Électrique* du 12 août 1893, la description de l'analyseur harmonique imaginé par P. Boucherot, nous devons faire remarquer que l'instrument Yule ne diffère de celui-ci que par une petite simplification, et ce que nous avons dit de l'un de ces instruments s'applique presque intégralement à l'autre, en tant que principe.

A. Hess.

CHEMINS DE FER
ET
TRAMWAYS ÉLECTRIQUES (1)

Trôlets.

Le graissage des roues de trôlet, nécessaire en raison de la vitesse de rotation de ces organes, est très difficile. Il a été fait soit avec de l'huile contenue dans l'intérieur de la roue elle-même, soit avec un métal antifriction ou de la plombagine. L'huile donne de très bons résultats, mais demande à être renouvelée souvent, ce qui entraîne une perte de temps et d'argent importante ; la plombagine donne aussi de bons résultats, mais s'use très rapidement. *M. Edgar M. Tousley* a combiné les deux procédés dans la construction de son trôlet (fig 55 à 60), ce qui permet de diminuer l'usure de la plombagine ; en même temps, il limite l'arrivée de l'huile à la quantité strictement nécessaire, en sorte qu'une faible quantité de liquide suffit pour une durée aussi longue, paraît-il, que celle de la roue elle-même. Ce trôlet, composé de pièces séparées, faciles à construire et à assembler rapidement est intéressant. La roue 9 contient une chambre à huile 11 dont l'intérieur est séparé en compartiments par des cloisons radiales 14, lesquelles ne s'étendent pas sur toute la profondeur de la chambre, afin de laisser communiquer les compartiments entre eux.

Elles ont pour but d'assurer la bonne circu-

(1) Voir l'*Éclairage Électrique* du 13 juillet, p. 49, et du 27 juillet, p. 145.

lation de l'huile et de détruire l'effet de la force centrifuge sur le liquide. Cette chambre est fermée par le moyeu 13 de la roue, de façon que l'huile ne puisse s'échapper par les bords.

Le moyeu métallique est fendu longitudinalement ; la fente est remplie par un coin en bois 22 ; le tout est recouvert d'une rondelle de feutre 18. L'intérieur du moyeu est garni

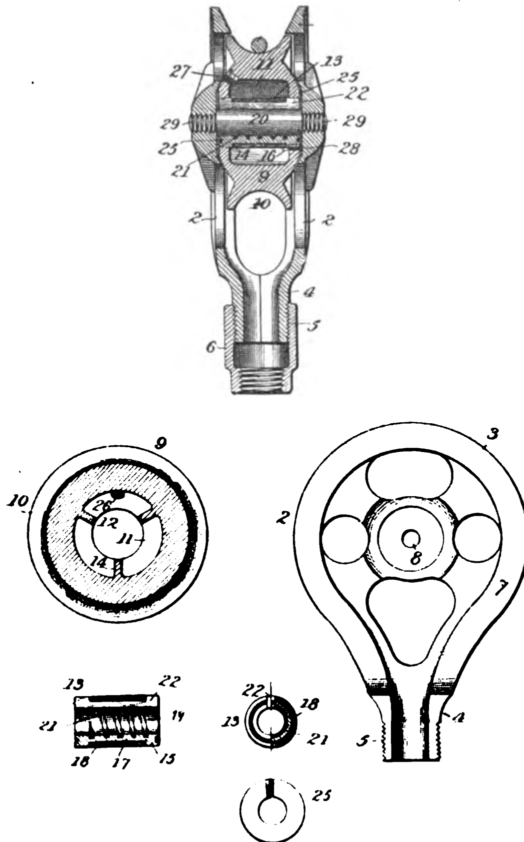


Fig. 55 à 60. — Trôlet S. M. Tousley (1894) et détails.

de spirales 21 de plombagine, ainsi que ses deux joues.

On commence par fixer le moyeu sur la roue, puis on passe l'axe 20, sur lequel on place aux deux extrémités les rondelles 25, puis on visse cet axe à ses extrémités 29, dans les joues 2, qui sont formées de deux parties symétriques, se vissant à leur extrémité 5 dans une douille 6, qui se visse elle-même sur la tige du trôlet ; le haut de ces joues continue la gorge de la roue, afin d'éviter que le fil ne s'échappe trop facilement et que le trôlet ne devienne « wild » ; elles sont munies d'ouvertures afin d'être plus légères. Lorsque le tout est monté, on remplit la chambre d'huile par l'ouverture 26, qu'on ferme par le bouchon à vis 27, et le trôlet peut être mis en service. L'huile passe lentement à travers le bois, en quantité suffisante pour assurer un bon fonctionnement, mais sans entraîner une dépense inutile ; l'huile s'écoule ensuite sur les joues et évite le grippement sur les rondelles 25.

La roue du trôlet quitte souvent le fil conducteur qui la guide, principalement aux

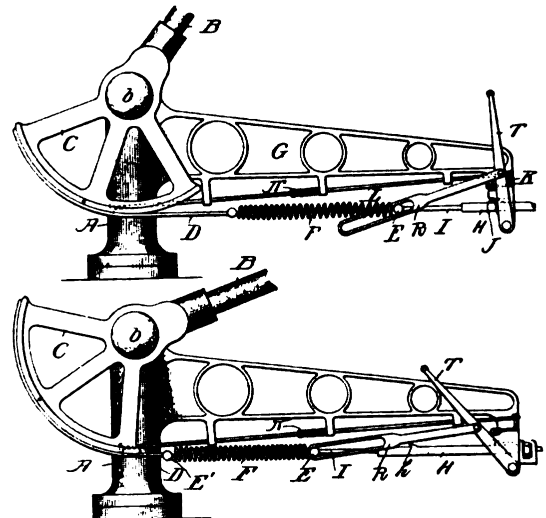


Fig. 61 et 62. — Base de trôlet O.-G. Cates (1894).

points de croisements ou de suspension. La tige, poussée par les ressorts qui la pressaient sur le fil, se porte brusquement en avant, puis revient en arrière, pour retourner en avant ; on dit alors qu'elle est « wild ». Pour éviter les accidents qui peuvent résulter de cet échappement, M. *Owen G. Cates*, dispose un verrou de sûreté qui permet aux ressorts de se détendre dès que la tige s'échappe. Celle-ci pend alors par son propre poids, et ne peut causer d'accident. La figure 61 et 62 représente le dispositif adopté. Lorsque le trôlet est dans sa position normale, la tige B, pivotée en *b*, tend à se redresser sous l'action des ressorts F qui tirent vers l'arrière par des courroies D,

les bras inférieurs C disposés en arc de cercle. L'extrémité opposée E des ressorts est fixée à une tige IH formée de deux parties pouvant glisser l'une dans l'autre sous l'action d'un écrou, afin de pouvoir modifier sa longueur et, partant, la tension des ressorts.

La tige H porte une buttée *h* qui vient s'engager sous un pène J, qui la maintient dans sa position normale. Tant que la tige B ne s'échappe pas, le fonctionnement de ce trôlet est identique à celui d'un trôlet ordinaire. Mais si la tige B s'échappe, poussée par les ressorts, elle se porte en avant, jusqu'à ce qu'une cheville fixée à l'arc de cercle vienne choquer contre la tige L qui dégage le verrou J. Les ressorts F se détendent alors, et la tige B prend la position représentée en figure 62.

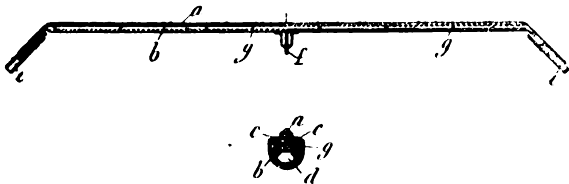


Fig. 63 et 64. — Trôlet à glissement de Siemens Brothers et C°. Vue latérale et coupe transversale.

Pour remettre la tige en place, il suffit de tirer de gauche à droite la poignée T qui, par le bras R et la tige de réunion des ressorts E, ramène la tige H en arrière, jusqu'à ce que le bec *h* vienne s'engager sous le verrou J. Un ressort *n* sert à ramener la tige L à sa position normale.

La maison *Siemens* n'a pas cru devoir adopter la forme de trôlet à roue de contact employée par tous les autres constructeurs; elle emploie une ou deux tiges disposées transversalement au-dessus de la voiture, et aussi longues que celle-ci est large. Ces tiges, convenablement pressées sur le fil de service par des ressorts, servent à la prise de courant. On conçoit que leur frottement produit un bruit sifflant très désagréable et une usure très rapide du fil de service. L'expérience a conduit ces constructeurs à perfectionner leur système primitif de la façon suivante (fig. 63 et 64).

La barre de contact en cuivre *a* est prise dans une gouttière métallique *b*, et y est fixée par des boulons; entre les parois de la gouttière et la tige *a*, sont interposées deux couches de mèches de coton *cc*; la tige *a* ne va pas d'ailleurs jusqu'au fond de la gouttière afin de laisser un espace libre ou tube *d*, qui communique avec les tiges creuses *e*, *e*, qui servent à fixer la barre de contact à la voiture. On fait circuler de l'huile sous une légère pression dans le tube *d*; elle s'élève par capillarité dans les mèches *cc* et lubrifie légèrement la surface de contact *a*; l'usure et le bruit sont ainsi beaucoup diminués; le bruit est, en outre, amorti par l'interposition des mèches de coton. Les réparations sont, de plus, très faciles.

Les mêmes constructeurs ont modifié cette forme de trôlet à barres pour l'adapter à l'exploitation avec deux conducteurs aériens, soit qu'on n'adopte pas le retour par les rails, soit qu'on emploie les courants triphasés, les rails faisant l'office d'un des conducteurs.

La barre horizontale Q Q est alors fixée à une tige verticale T, et pressée au contact des conducteurs *l*, *l*, par un ressort F (fig. 65 et 66). La tige Q Q est formée de deux parties conductrices isolées l'une de l'autre en E′, E′; chaque tige communique par un fil D avec la borne correspondante du moteur. La tige Q Q est pivotée en A afin de pouvoir s'incliner convenablement pour assurer un bon contact avec chacun des deux fils *l l*, quelle que soit la hauteur relative de ces deux fils. Des gardes R, sous forme d'étoiles mobiles autour de leur centre, empêchent que l'un des fils puisse passer sur l'autre section de la tige.

Ces gardes peuvent être remplacées par des roulettes R, munies de gardes de chaque côté et pouvant à la fois rouler et glisser sur les tiges Q Q (fig. 67); et dans la gorge desquelles est placé le fil conducteur.

Si la voie présente des croisements ou des bifurcations, il faut modifier la forme du frotteur afin d'éviter que le circuit ne soit coupé lorsque la barre passe sur l'étoile isolante qui relie les fils ou que ceux-ci, qui sont à des po-

tentiels différents, ne soient mis en court circuit, ce qui se produirait avec les dispositions ci-dessus, comme on peut le voir sur la droite du dessin (fig. 68). Le frotteur se compose d'un pont métallique I I d'une longueur un peu su-

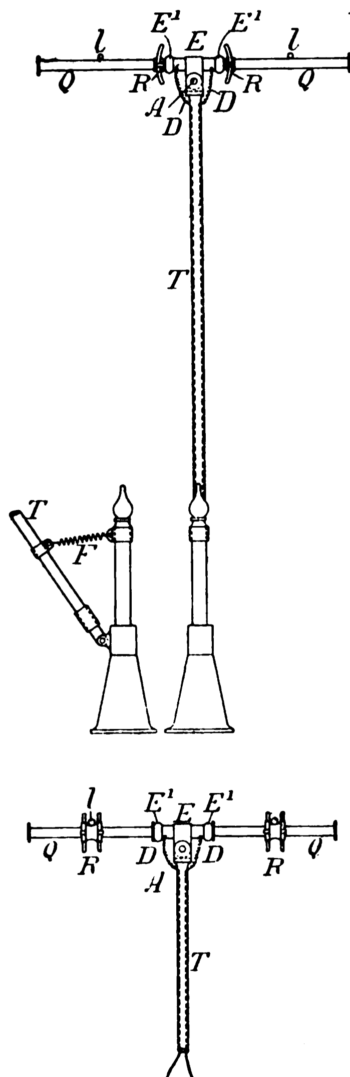


Fig. 65, 66 et 67. — Trôlet Siemens à glissement et à double contact, pour voies en alignement droit.

périeure à celle de l'isolant qui sépare les deux sections de la ligne, de façon qu'une de ses extrémités soit toujours en contact avec une de ces sections et d'une largeur assez faible pour ne pas toucher le conducteur rectangulaire.

Ligne aérienne. — Suspensions. — Poteaux. — Retour. — Joints électriques. — Distribution.

Les suspensions des fils de trôlet ont le défaut commun de se briser trop facilement parce

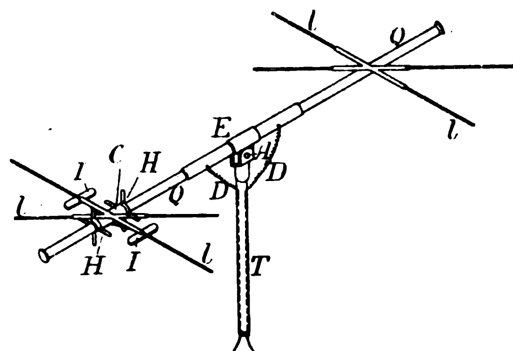


Fig. 68. — Trôlet Siemens, à glissement et à double contact, pour croisements.

que la gouttière à laquelle est fixé le fil du trôlet ne tient à la cloche isolante que par

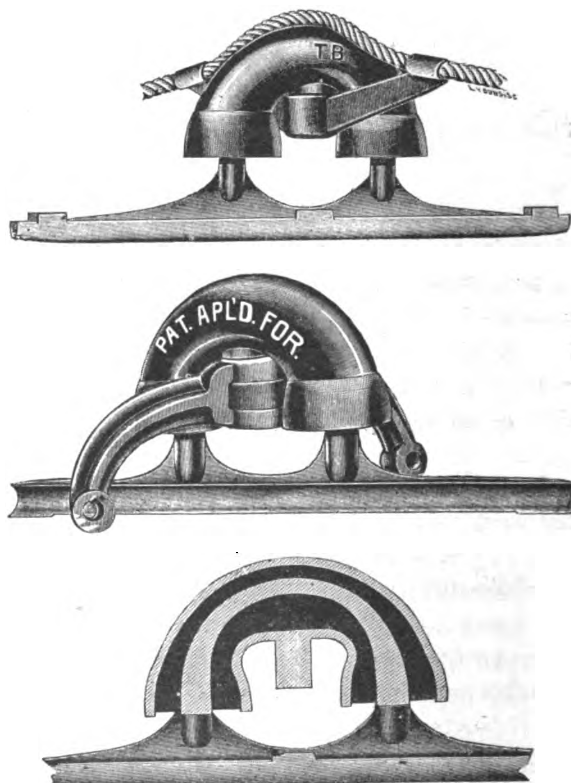


Fig. 69, 70, 71. — Suspensions Thompson Brown.

une seule tige qui ne peut supporter les efforts considérables auxquels elle est soumise. La

Thompson-Brown Electric C° a cherché à réduire ce défaut en attachant la gouttière à la cloche en deux places différentes comme le représentent les figures 69 à 71.

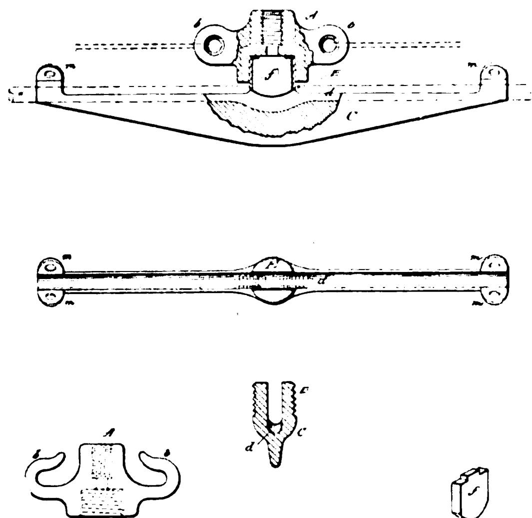


Fig. 72 à 76. — Suspension T.-I. Mac Tighe et détails.

La cloche a la forme d'un tube aux extrémités élargies, courbé en arc de cercle ; les deux bras de soutien sont réunis en une seule tige qui traverse entièrement le tube, dont elle est fortement isolée au moyen de caoutchouc durci (fig. 17). La gouttière est d'abord fondue avec ses deux bras ; ceux-ci sont réunis ; la

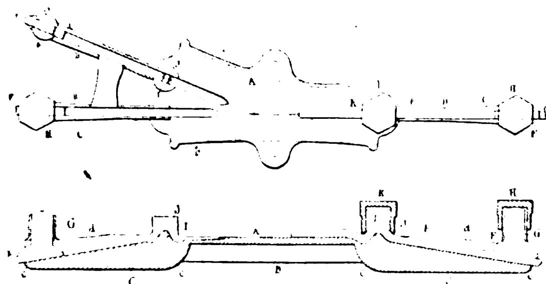


Fig. 77 et 78. — Suspension M.-A. Smith et W. Clabaugh.

cloche tubulaire est ensuite fondue autour de l'arche ainsi formée. Ce mode de fabrication assure une grande solidité et est très économique.

La suspension du fil de trôlet, de *M. T. I. Mc Tighe* est destinée à assurer une fixité absolue du fil, au moyen d'une disposition très simple ; l'isolateur A, attaché au fil de suspension transversal par des oreilles *b* est munie d'une cavité taraudée à sa partie inférieure (fig. 72 à 76). Une pièce métallique C, munie d'une gouttière *d* à sa partie supérieure, porte un bloc E fileté qui peut être vissé dans la cavité ci-dessus ; ce bloc est fendu, et le bas de la fente est déprimé, comme le représente la figure. Le fil de trôlet *w* est posé dans la gouttière et passe par cette fente ; une cheville plate *f* est placée dans celle-ci au-dessus du fil, sa partie inférieure épouse la forme de la dépression. Lorsqu'on visse l'isolateur A, la cheville force le fil à se courber dans la fente et l'y maintient fortement.

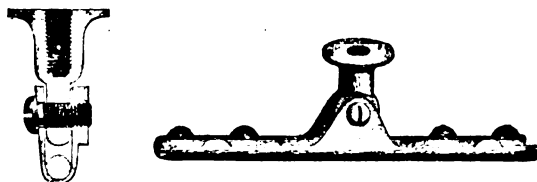


Fig. 79 et 80. — Suspension de la Ohio Brass C°.

La suspension *M. A. Smith et W. Clabaugh* est analogue à la précédente, mais le fil est courbé vers le haut au moyen d'une projection L et d'un chapeau K qui se visse sur J (fig. 77 et 78) ; un sabot F serre le fil sur le fond de la gouttière aux extrémités, pour l'empêcher de sortir de la gouttière.

La suspension de la *Ohio Brass Company* (fig. 79 et 80) a été établie pour permettre l'installation des fils à trôlet, sans outils spéciaux et sans soudure.

On commence par dévisser la partie inférieure pour placer le fil dans la gouttière où on le maintient en rabattant les trois pattes de chaque côté ; on revisse l'étrier sur la tête qui, elle-même, se visse sur l'isolateur. Le passage de la roue du trôlet sur cette suspension serait très doux et n'occasionnerait pas d'étincelles.

On a souvent proposé de disposer les isolateurs qui maintiennent les fils du trôlet de fa-

çon que ces fils soient isolés automatiquement en cas de rupture, en vue d'éviter les accidents qui pourraient se produire si les fils chargés

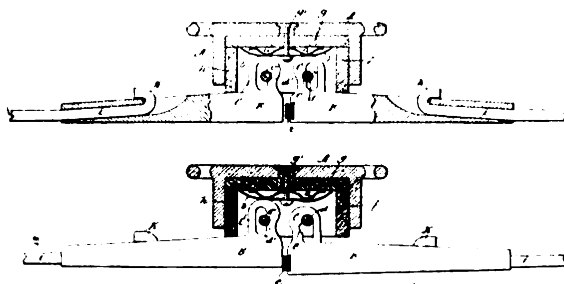


Fig. 81 et 82. — Suspension J.-H. Curry à coupe-circuit automatique.

venaient à tomber sur le sol ou sur des passants. On a employé un assez grand nombre de suspensions à coupe-circuit, dans ce but. Le modèle proposé par M. *J. H. Curry* est assez simple et a, paraît-il, donné en essais de

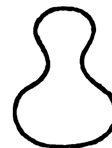


Fig. 83. — Section du fil à trôlet de la ligne de Nantasket.

bons résultats; reste à savoir si, en usage courant il ne se dérangerait pas trop facilement.

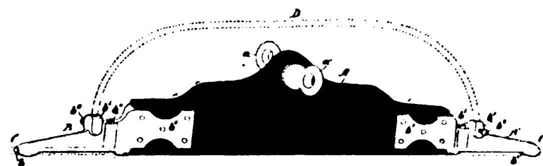


Fig. 84.

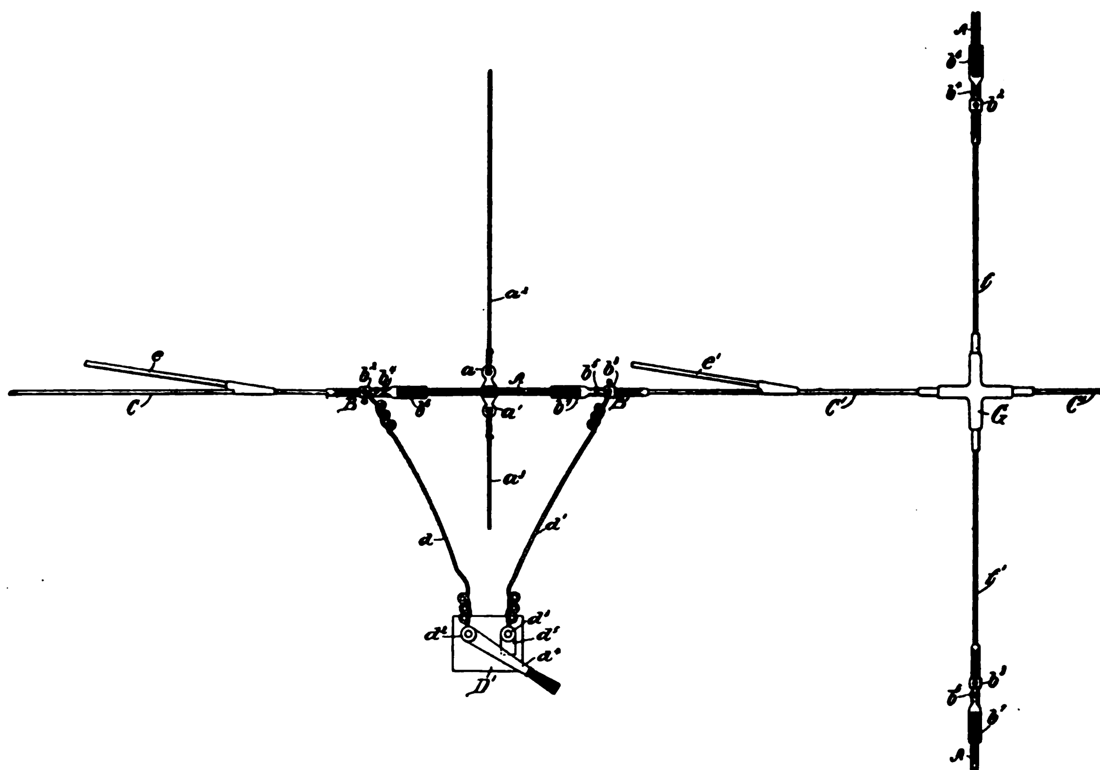


Fig. 84 et 85. — Isolateur de section H.-B. Nichols et F.-H. Lincoln.

Les extrémités du fil de service *i* (fig. 81 et 82) sont fixées dans des bras métalliques B, B' qui portent chacun à leur extrémité intérieure une projection verticale C; ces projections sont munies d'une ouverture centrale oblongue et d'une rainure demi cylindrique *e* dans la-

quelle vient s'engager une tige isolée *d* maintenue dans la cloche A *f* qui est formée d'une boîte métallique ouverte à sa partie inférieure et garnie intérieurement d'un isolant *f*. La tension du fil *i* maintient le bras B dans la position représentée en figure 81, c'est-à-dire que la tige *d* est engagée dans la rainure *e*; dans ces conditions les deux bras B sont réunis électriquement par les ressorts *ab*, et le circuit est continu. Mais si le fil de droite, par exemple, vient à se briser, le bras B tend à tomber, comme en figure 28, et le contact est rompu en *a*; un bloc isolant *c* empêche les deux blocs B de venir en contact. Le fil *i* en tombant à terre sera donc isolé et aucun accident ne sera à craindre.

Avant de quitter le sujet de la suspension des fils de service, on peut citer le fil à trôlet étiré par la *John A. Roebling's Son's Company*, pour l'embranchement de Nantasket, du chemin de fer de New-York, New-Haven and Hartford. sur lequel la traction électrique a été adaptée. Comme on peut le voir par le dessin (fig. 83) ce conducteur est d'une forme nouvelle, rappelant celle d'un 8 dont l'anneau supérieur serait d'un diamètre plus petit à celui de l'anneau inférieur. Le côté inférieur est très plat afin de fournir une large surface de contact pour le trôlet; la partie supérieure sert à fixer solidement le fil aux suspensions tout en évitant les sauts de la roue du trôlet en passant sous les suspensions ordinaires, ce qui la fait parfois échapper.

Lorsque le réseau de distribution est assez important, il est utile de partager la ligne du trôlet en un certain nombre de sections isolées les unes des autres et convenablement reliées aux conducteurs d'alimentation. De la sorte, si un accident vient à se produire sur une des sections, le service peut être continué sans difficulté sur les autres sections. L'isolateur de section de MM. *H. B. Nichols et F. H. Lincoln* se compose d'un bloc isolant A, de forme triangulaire, portant deux anneaux *a a'* pour la suspension (fig. 84 et 85) et muni à ses deux extrémités d'armatures en bronze B et B'. Les extrémités des fils de ligne *b* et *b'* viennent s'engager dans la gouttière inférieure de ces armatures et sont fixées dans des trous cylindriques b^3 et b^4. La voiture passe d'une section à la suivante en vertu de la vitesse acquise. Afin de pouvoir, en cas de nécessité relier métalliquement deux sections

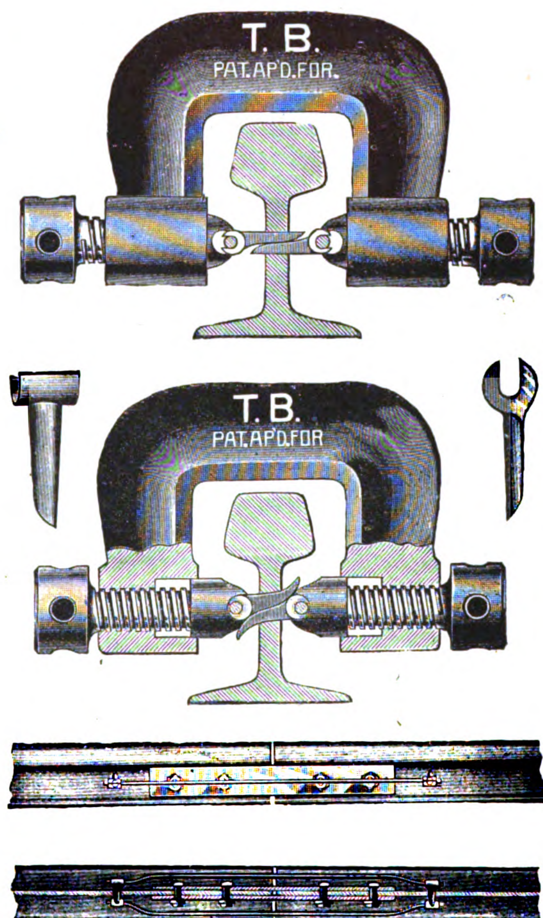


Fig. 86 à 91. — Joint électrique pour rails, Thompson-Brown.

contiguës, les armatures BB' sont munies de deux autres ouverture b^2 et b^3 dans lesquelles on peut fixer par les vis de serrage b^8 et b^9, un pont métallique D ou mieux, les extrémités du fil *d d'* dans le trajet duquel est intercalé un commutateur D' qui permet d'effectuer rapidement la manœuvre.

La *Thompson-Brown Electric Company* de Boston, propose l'emploi du joint élec-

trique représenté par les figures 86 à 91. Les fils complétant le circuit électrique sont placés (fig. 90 et 91) dans des crampons (fig. 88 et 89) qui passent dans des trous pratiqués dans les rails où ils sont forcés par une presse à vis spéciale (fig. 86 et 87); la pression ferme hermétiquement les crampons sur les fils et tord les queues des crampons de telle sorte qu'un excellent contact métallique est obtenu.

Le joint électrique *Brown* (fig. 92) consiste en un alliage métallique plastique qui établit un contact électrique parfait entre le rail et l'éclisse ordinaire. Cet alliage est contenu

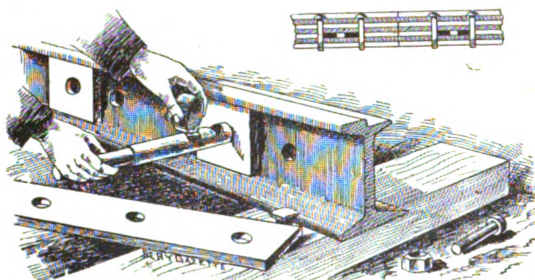


Fig. 92. — Joint électrique pour rails, Brown.

dans un cadre en liège enduit d'une composition qui ne s'oxyde ni se craquèle.

La surface du rail est d'abord nettoyée au grattoir ou à la lime et frottée au moyen d'un alliage spécial découvert par Édison, « qui change instantanément, dit la *Street Railway Gazette*, la rouille en fer métallique pur formant une surface brillante comme de l'argent qui n'absorbe pas l'humidité et ne s'oxyde pas. »

Les cadres en liège sont d'abord chauffés et pressés contre les joues des rails. Une pastille de métal plastique est placée dans chacun des cadres au moyen d'un tube et d'un piston, comme le représente fort bien la gravure. Les éclisses sont ensuite boulonnées à fond; le serrage des boulons comprime le liège à la moitié de son épaisseur primitive, en sorte qu'un contact électrique parfait s'établit par l'intermédiaire de l'alliage entre les rails et les éclisses. Ce joint est employé par la *Suburban Traction Company*, d'Orange (N. J.) où il a donné d'excellents résultats.



Fig. 93 à 96. — Distribution par feeders souterrains (Philadelphie, 1895).

Les règlements de police, à Philadelphie, interdisant les canalisations aériennes, à l'exception, bien entendu du fil à trôlet, la Hestonville, Mantua and Fairmount Passenger Rail-

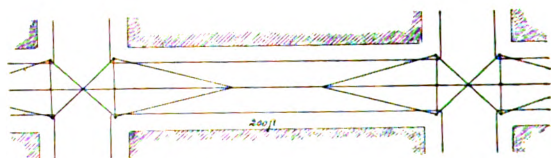


Fig. 97. — Méthode de suspension du fil à trôlet permettant de diminuer le nombre de poteaux.

way Company a adopté le mode de construction suivant (fig. 93). Les feeders sont conduits de chaque côté de la rue dans des caniveaux en poterie, placés sous la chaussée à environ 0,60 m. de profondeur. Les trous

d'homme sont placés à chaque croisement de rues; ils sont de forme elliptique, le grand axe ayant 1,50 m. et le petit 0,90 m.; leur hauteur est de 1,80 m. De trois en trois regards un feeder est conduit par une conduite latérale à

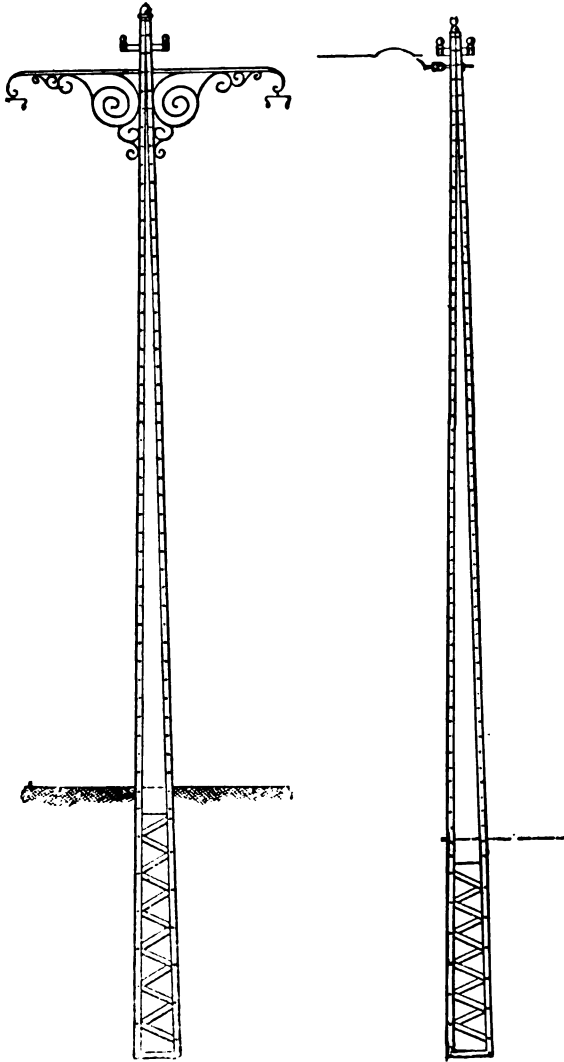


Fig. 98 et 99. — Poteaux à potence de la Berlin Iron Bridge C°.

la base des poteaux latéraux et de là, par l'intérieur des poteaux qui est en fer tubulaire, à une boîte de jonction où la connexion avec le fil à trôlet est établie. Les figures 94 à 96 représentent les détails de cette disposition.

Un parafoudre Wurts est attaché également au poteau, du côté opposé à la boîte de jonction; le conducteur qui part de ce parafoudre descend, par l'intérieur du poteau, au sol où,

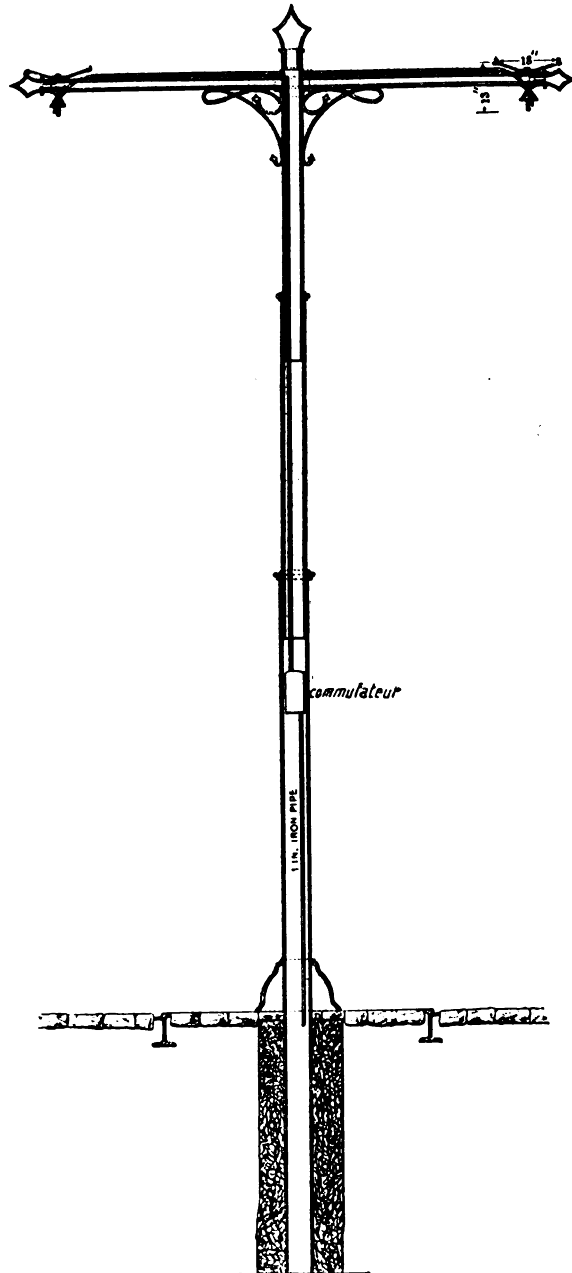


Fig. 100. — Poteaux à potence en usage à Philadelphie.

dans le regard, il est relié à un rail plat qui descend dans le sol, à quelque profondeur.

Tous les trous d'homme sont reliés aux poteaux par des conduites latérales qui ont simplement pour but d'assurer une bonne

ventilation. Les poteaux sont en fer forgé; ils sont fait en trois parties dont la section va en

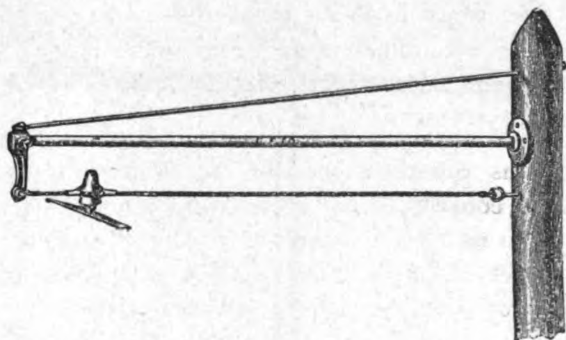


Fig. 101. — Potence à suspension flexible de Creaghead.

diminuant de la base au sommet (15, 12,5 et 10 cm. de diamètre respectivement). Ils sont enfoncés de 1,80 m. dans le sol bétonné. Le chapeau du poteau est en bois; c'est à cette

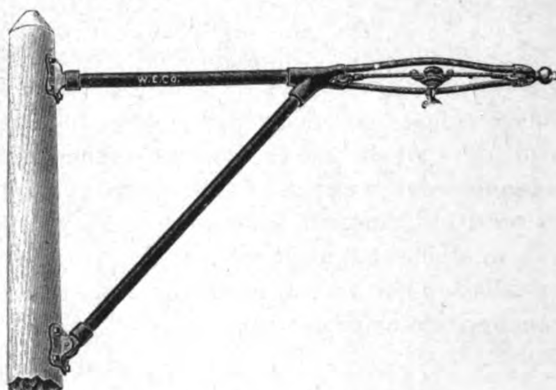


Fig. 102. — Potence à suspension flexible de Wood.

partie que les fils de suspension sont attachés,

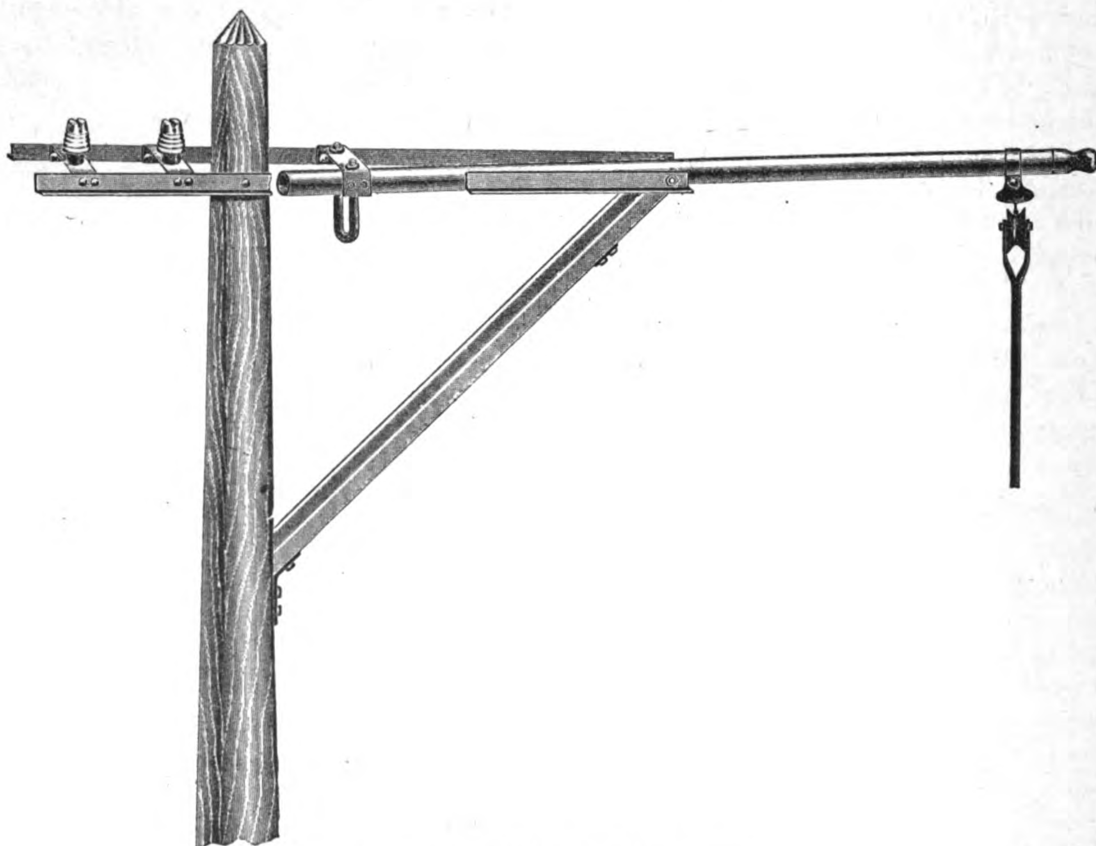


Fig. 103. — Potence articulée de Pfout.

en sorte que le fil à trôlet est isolé trois fois : d'abord par l'isolateur de suspension, puis par l'isolateur du fil transversal et enfin par le chapeau en bois.

D'un autre côté, dans le but de diminuer le nombre de poteaux nécessaires à la suspension d'une ligne, l'ingénieur chargé de l'installation de la ligne de Hoboken, près New-York, a adopté la disposition représentée en figure 97. Lorsque la distance entre deux rues transversales consécutives ne dépasse pas 60 m., les poteaux sont placés seulement au croisement des rues ; des fils tendeurs partant des poteaux viennent soutenir le fil du trôlet à 15 m. dans chaque direction. Le prix de l'installation est ainsi diminué et l'aspect est beaucoup moins disgracieux.

Cet aspect disgracieux est, en effet, un des reproches qu'on a le plus souvent adressés, avec juste raison, à de nombreuses lignes de tramways électriques américaines. Il est dû à la suspension par fils transversaux et surtout, il faut bien le dire, au peu de soins apportés par les ingénieurs à cette partie du travail. Les lignes où le fil est suspendu à des potences sont, en général moins disgracieuses. Il est intéressant de signaler ce qui se fait dans cette voie, surtout en France où ces questions reçoivent une attention toute particulière, et à cause desquelles les meilleurs projets risqueraient d'avorter.

Les figures 98 et 99 représentent des poteaux en fer construits par la Berlin Iron Bridge C° et qui sont assez légers ; la figure 100 représentant les poteaux à potence employés à Philadelphie.

Si la suspension des fils de trôlet par les fils transversaux, a le grave inconvénient d'être peu décorative, elle offre l'énorme avantage d'une suspension élastique très favorable au service. Lorsque les nécessités de l'installation forcent à adopter le système de suspension par potence, si le fil est fixé directement sur le bras horizontal de celle-ci, le trôlet s'échappe facilement, ce qui nuit au service. On y remédie, il est vrai, en perfectionnant les roues des trôlets; dans ces derniers temps, différents constructeurs ont cherché à combiner les avantages des deux systèmes de suspension dans des poteaux à potence ; la figure 101 représente la potence de *Creaghead*, qui porte à son extrémité libre une projection verticale, dirigée vers le bas et qui sert à tendre un fil dont l'autre extrémité est fixée au poteau. L'isolateur du fil à trôlet est monté sur ce fil. On comprend que la suspension participe alors des avantages des deux systèmes.

Dans un autre modèle, de *Wood* la potence, consolidée par un contrefort, maintient, à son extrémité libre, entre deux bras recourbés, le fil sur lequel est monté l'isolateur (fig. 102).

M. *Pfout*, au lieu de monter les isolateurs sur des fils tendus, les fixe directement sur le bras horizontal de la potence : seulement, ce bras, au lieu d'être fixe, est pivoté vers le milieu de sa longueur, afin de pouvoir céder dans une certaine limite à la pression de la barre de trôlet. Un étrier fixe, limite l'étendue de ce mouvement (fig. 103).

(*A suivre.*) G. PELLISSIER.

ÉTUDES EXPÉRIMENTALES

SUR L'ÉTINCELLE DISRUPTIVE [1]

V

Les oscillations rapides dont l'étincelle est le centre d'ébranlement sont probablement de l'ordre de fréquence des oscillations obtenues sur le secondaire du transformateur de M. Teslà, excité par une décharge de condensateur.

Ceci résulte, en premier lieu, de la comparaison entre les types d'illumination des divers tubes à vide quand le circuit est ouvert, ou quand l'étincelle jaillit. J'ai déjà décrit en gros au commencement du § 2 ce qui se passe dans le gros tube à acide carbonique. Il y a peu de choses à dire pour en compléter la description. Ce tube présente des stries ; quand le circuit est ouvert, les stries sont à peu près fixes et

[1] Voir l'*Eclairage Electrique*, du 24 août, p. 343.

très nettes. Quand l'étincelle jaillit, en même temps que l'éclat du tube augmente, et que le flux lumineux s'épanouit pour remplir complètement le tube, les stries s'estompent et disparaissent.

Si au lieu d'employer un tube sans électrode analogue au précédent, on emploie un tube à analyse spectrale ordinaire, on observe les faits suivants. Quand l'étincelle ne jaillit pas, le tube semble traversé par un flux lumineux allant d'une électrode à l'autre et présentant les particularités partout décrites.

Au moment où l'étincelle jaillit, les ampoules du tube se remplissent complètement de lumière, et le flux s'échappe de tous les points de l'électrode. Ce dernier phénomène est plus accentué à l'électrode négative qu'à la positive.

J'ai opéré avec des tubes de pressions progressivement croissantes, et j'ai observé que la différence d'éclat du tube à circuit ouvert ou lors de l'étincelle, était d'autant plus grande que la pression y était plus élevée. J'ai opéré ainsi jusqu'à la pression de 5 millimètres de mercure. La valeur de la pression dans ces différents tubes m'a été donnée par M. Seguy, qui les a construits. Ce dernier tube mis unipolairement en contact avec la grosse bobine ne donne presque rien quand le circuit est ouvert. Au moment où l'étincelle jaillit, il prend un éclairement très notable.

Quand on emploie les tubes sans électrodes à acide carbonique vendus dans le commerce pour répéter les expériences de M. Teslà, on n'observe pas grande différence, dans les conditions où je me suis placé. Cela tient probablement à ce que dans ces tubes on ne peut voir la terminaison en cône dont j'ai parlé plus haut. Je cite ce fait pour mémoire, et pour me mettre à l'abri des critiques que pourraient m'adresser ceux qui répéteraient mes expériences avec ces tubes aujourd'hui très répandus.

Enfin les différences entre les illuminations des tubes sont encore plus frappantes quand on met un point de ceux-ci à terre. Quand on prend à la main le milieu du grand tube cité plus haut, par exemple, et que l'étincelle ne jaillit pas, on sent des secousses assez violentes et en même temps la partie libre du tube est presque complètement obscure. Si on fait jaillir régulièrement l'étincelle, l'éclat du tube augmente partout, mais surtout dans la partie libre qui prend un éclairement très notable, en même temps que l'effet physiologique diminue.

Nous voyons ainsi trois propriétés des oscillations rapides dues à l'étincelle ressortir de ces expériences. La propriété de traverser aisément les milieux peu raréfiés, celle de se propager malgré les shunts, et enfin celle d'avoir une action physiologique nulle. Ce sont là trois caractéristiques des oscillations à haute fréquence indiquées par M. Teslà. D'ailleurs la comparaison directe des phénomènes présentés par les tubes à vide lors de l'étincelle et sur le secondaire du transformateur de M. Teslà a été faite, et j'ai trouvé identité sauf sur un point, c'est la différence de polarité indiquée pour les tubes à analyse spectrale qui n'existe aucunement sur l'appareil Teslà. Il ne faut d'ailleurs pas nous étonner outre mesure de ce fait, car nous avons évidemment, dans le cas qui nous occupe, un phénomène complexe présentant la superposition d'ondes ayant la période propre de la bobine, à celles qui sont émanées de l'étincelle. Sur l'appareil de Teslà, les phénomènes sont épurés. C'est ainsi que, dans le grand tube, le flux filiforme terminal reste toujours un peu visible, tandis qu'il n'en est pas ainsi sur l'appareil de Teslà. Il n'y a que dans l'expérience du shunt que l'aspect de la partie libre est identiquement le même pour les deux appareils. Cela n'est pas étonnant puisque le shunt opère sur toutes les oscillations relativement lentes, et épure par conséquent le phénomène. Pour l'action physiologique, elle ne disparaît pas complètement, parce qu'une partie seulement de l'énergie fournie par la bobine subit une transformation par l'étincelle. Nous devons donc nous attendre, précisément par ce fait que le shunt épure le phénomène, à éprouver encore une sensation nette bien que diminuée. C'est précisément ce qui se passe.

D'autres expériences encore viennent corroborer ces idées, mais elles ont été faites avec les tubes à rayons cathodiques, et ceux-ci ont présenté des phénomènes remarquables dans les conditions où je me suis placé; je réserve pour un autre moment leur exposé, ayant encore besoin de quelques études pour coordonner tous ces faits. Mais si certains faits qui se présentent dans les tubes de Crookes me semblent nécessiter un supplément d'instruction, leur ensemble n'en confirme pas moins les résultats obtenus relativement aux oscillations rapides que je viens d'étudier.

L'étude qui vient d'être faite nous permet, avant d'aller plus loin, d'expliquer les phénomènes qui se passent lorsqu'on emploie, au lieu de la puissante bobine dont j'ai parlé, de petites bobines ordinaires. Dans ces conditions, les résultats semblent au premier abord contradictoires. Dans certaines conditions, on voit les tubes augmenter d'éclat, diminuer dans d'autres. Cela dépend du tube et de la bobine. Mais ces résultats, loin d'infirmer mes idées, me semblent au contraire les corroborer. En effet, quand les dimensions de la bobine diminuent, sa période propre devient plus courte, et en même temps par conséquent, l'énergie disponible pour un quart d'oscillation du système l'amenant à donner aux deux points entre lesquels va jaillir l'étincelle une différence de potentiel donnée. Cette différence de potentiel détermine la distance explosive; l'énergie accumulée dans le système pendant un quart d'oscillation est celle qui est disponible pour la production de l'étincelle. On conçoit donc, par ce raisonnement approximatif que deux raisons doivent rendre le phénomène moins net. La première est que l'ordre des oscillations propres de la bobine se rapproche de l'ordre des oscillations spéciales à l'étincelle, et la seconde que, si la période de celles-ci reste du même ordre de grandeur que précédemment, comme l'énergie qui les produit est beaucoup plus faible, leur potentiel maximum doit être beaucoup moins élevé. Or, l'étincelle produisant, par son rôle certain de conducteur, un abaissement de l'effet dû aux oscillations propres de la bobine, et les effets spéciaux à l'étincelle devant être diminués par l'emploi des petites bobines, on peut concevoir que, pour certaines conditions, l'éclat total du tube est le même, ou même diminue au moment de l'étincelle. Mais cependant, s'il continue à se produire des oscillations de haute fréquence, les types d'illumination relatifs à celles-ci doivent se présenter encore, indépendamment des phénomènes d'intensité. C'est ce que l'expérience a vérifié de tous points. D'ailleurs, si ces idées sont exactes, on doit pouvoir, en changeant la nature du diélectrique rompu par l'étincelle, changer la nature des oscillations qu'elle produit et modifier par conséquent les phénomènes. En effet, avec une petite bobine dont je me suis servi, les tubes, tout en prenant l'illumination caractéristique de haute fréquence, diminuent souvent d'éclat au moment où l'étincelle jaillit dans l'air. Quand on lui fait rompre une feuille de carton bien sec, l'éclat général des tubes augmente au moment où elle jaillit. Cette expérience me semble une sérieuse vérification des idées que j'ai émises.

Nous voyons apparaître ici déjà une différence entre les effets de l'étincelle suivant le diélectrique où elle jaillit. Ceci n'est pas admissible avec les idées sur lesquelles est basée la formule de Thomson. Nous allons voir cette différence s'accentuer encore dans les expériences suivantes.

La propriété essentielle des oscillations de haute fréquence est que le vecteur électrique est constamment normal aux conducteurs; les expériences de M. Teslà montrent en effet qu'avec des oscillations de haute fréquence les fils conducteurs deviennent le siège d'aigrettes normales au fil, s'étendant sur toute la longueur de ceux-ci, et uniformément réparties tout le long des conducteurs. Ces expériences se font avec le secondaire d'un transformateur excité par une décharge de condensateur. J'ai pensé alors que je devais obtenir des effets analogues sur des fils mis en communication unipolaire avec un excitateur où jaillit une étincelle et que l'apparition d'aigrettes normales au fil dans toute sa longueur et assez brillantes

pour pouvoir être étudiées en détail n'était qu'une question d'énergie. L'expérience faite avec la grosse bobine déjà mentionnée et douze

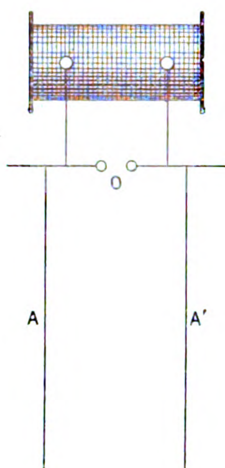


Fig. 9. — A A', fils formant excitateur de Hertz; O, étincelle.

accumulateurs a vérifié entièrement cette prévision. J'ai d'abord mis en contact avec les deux côtés de l'excitateur deux longs fils ayant chacun une dizaine de mètres de long, et isolés, formant ensemble quelque chose d'analogue à un excitateur de Hertz. Ce sont les fils A A' de la figure 9. Quand l'étincelle ne jaillit pas, les fils deviennent légèrement lumineux. Aussitôt que l'étincelle jaillit, le phénomène change complètement, les deux fils prennent un éclat considérable, ils se couvrent d'aigrettes. Les deux fils ne présentent pas tout à fait la même apparence. Le fil négatif présente de distance en distance des points incandescents, espacés d'une manière un peu irrégulière, distants l'un de l'autre en moyenne de 5 millimètres. En plus, le fil est entouré d'une gaine d'aigrettes blanches partout normales à sa surface, et ayant environ 4 centimètres de diamètre dans l'expérience qui nous occupe. Ces aigrettes ne sont pas réparties tout à fait uniformément, elles présentent une série de maxima et de minima, qui ne sont pas absolument équidistants, mais qui sont absolument nets (fig. 10). Quand on regarde d'un peu près, on aperçoit que cette gaine lumineuse est composée d'une infinité de petites aiguilles lumineuses extrêmement minces, qui semblent tourner autour du fil. Du côté positif, le fil lui-même semble beaucoup plus brillant et entouré d'une gaine lumineuse de 1 centimètre de diamètre, il ne présente pas les points incandescents précédents; de distance

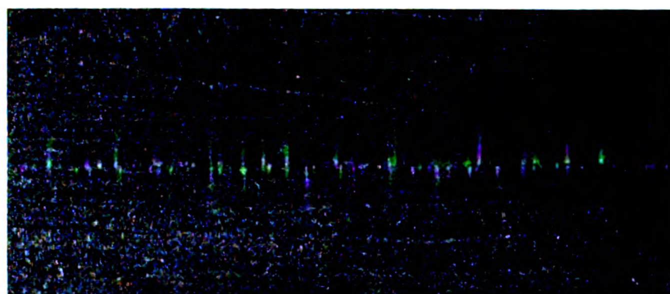


Fig. 10. — Photographie d'environ demi-grandeur naturelle, avec dix minutes de pose, d'nne portion d'un fil de $0^{mm},25$, située à 5 mètres de l'étincelle, en communication avec la borne négative. L'étincelle jaillit dans l'air. Les maxima principaux sont seuls marqués.

en distance, on voit des aigrettes qui entourent le fil, et sont très longues et peu lumineuses. Quand on examine le phénomène de plus près, on s'aperçoit que la gaine lumineuse, qui paraissait continue, se résout en une infinité de petites aigrettes extrêmement fines, serrées, courtes et lumineuses. Ces aigrettes sont d'ailleurs impossibles à étudier en détail, car on ne peut s'approcher beaucoup du conducteur sous peine de recevoir une étincelle fort pénible. Les deux fils ont une propriété commune qui consiste en ce que les aigrettes sont

infiniment plus longues et plus brillantes aux extrémités du fil qu'aux environs de l'étincelle. La périodicité des phénomènes lumineux ne paraît d'ailleurs pas sensiblement changée par la distance à l'étincelle. La fixité de ce phénomène est très remarquable, puisque j'en ai obtenu des photographies avec dix minutes de pose. Celles-ci ne permettent pas d'étudier absolument tous les détails des phénomènes, mais elles permettent de voir les points brillants, et, au-dessus de ceux-ci, une trainée lumineuse qui part normalement au fil, et s'épanouit à quelque distance.

J'ai vérifié que ces aigrettes étaient toujours exactement normales au fil, en approchant des diélectriques, des conducteurs, des aimants, des parties éloignées du même fil. Dans tous les cas, on voit parfois les aigrettes disparaître, mais, quand elles existent, elles sont toujours normales au fil. Dans le dernier cas, j'ai pu voir une véritable nappe d'aigrettes se former entre les deux fils, et en leur faisant former un certain angle, on voit les aigrettes se contourner en S, pour aboutir toujours normalement aux deux conducteurs.

C'est avec ces aigrettes que la nature du diélectrique rompu a montré une influence prépondérante. Les aigrettes obtenues avec un excitateur à pétrole sont beaucoup plus courtes, brillantes et serrées qu'avec un excitateur à air. La périodicité du phénomène lumineux paraît aussi plus courte, les nœuds et les ventres d'aigrettes sont beaucoup plus serrés.

Quand on forme l'arc avec l'excitateur à air, et qu'on interpose un carton dans cet arc, il n'y a plus, à proprement parler, d'aigrettes, il y de véritables langues de feu de 5 à 8 millimètres de long, qui semblent hérisser le fil. Ce phénomène semble encore à peu près périodique et de plus courte période encore qu'avec le pétrole.

Mais une vérification manque encore pour prouver que ces aigrettes sont réellement dues à des phénomènes de hautes fréquences, c'est celle de l'action physiologique nulle. Nous savons en effet que cette propriété est tout à fait caractéristique. Mais ici, nous ne pouvons la chercher, puisque nous sommes en communication avec la bobine, et que, le corps étant mis en communication avec le conducteur, recevra, à l'impulsion suivante, la décharge de la bobine avant sa transformation par l'étincelle qui n'est d'ailleurs, comme nous l'avons vu, que partielle, selon toute probabilité. Malgré cela, il m'est arrivé plusieurs fois, dans le cours de ces expériences, de recevoir des étincelles dans diverses conditions, et j'ai toujours observé que la décharge donnée par les fils illuminés d'aigrettes avec la grosse bobine, était beaucoup moins pénible qu'on n'a l'habitude de le croire. Il n'en est pas de même, d'ailleurs, pour les conducteurs qui relient l'excitateur à la bobine, sur lesquelles la décharge produit une contraction musculaire généralisée presque capable de jeter un homme par terre. C'est une expérience à ne pas faire cependant de propos délibéré.

J'ai pensé alors, puisque l'étincelle semble jouer un rôle de transformateur, que je pourrais produire des phénomènes d'aigrettes, en plaçant un fil métallique entre deux excitateurs à étincelles dont les autres extrémités seraient réunies à la bobine. J'ai obtenu dans ce cas des aigrettes analogues à celles de l'expérience précédente, présentant la propriété, comme les précédentes, de changer de nature avec l'étincelle à laquelle elles sont dues. Le phénomène n'est symétrique que quand les deux étincelles sont parfaitement réglées à l'égalité. J'ai opéré avec un fil de 0,20 mm. de diamètre, et de 35 mètres de long; dans ces conditions je n'ai pu obtenir de différence appréciable entre les éclats des diverses parties du fil, sauf peut-être une légère diminution aux environs immédiats de l'étincelle.

L'excitateur ainsi formé est analogue comme fonctionnement à l'excitateur sphérique de Lodge, et les expériences de ce physicien ont montré que, dans ces conditions, la sphère prenait une oscillation propre. La question est de savoir quelle portion de l'énergie disponible du circuit est transformée en oscillations rapides, au moment de l'étincelle. Or j'ai observé que tant que les deux étincelles étaient nettement disruptives, on pouvait toucher le conduc-

teur à la main sans éprouver de sensation pénible, en prenant les mêmes précautions que dans les expériences ordinaires de hautes fréquences. Si l'étincelle jouait un simple rôle de conducteur, dans le cas qui nous occupe, nous devrions recevoir la décharge de la bobine toutes les fois qu'une étincelle jaillit. Il n'en est rien, et cependant le corps est bien traversé par des oscillations de haute fréquence car on peut, dans ces conditions, répéter l'expérience peut-être la plus frappante de M. Teslà, qui consiste à illuminer un tube tenu d'une main, tandis que l'autre main est en communication avec le conducteur. J'ai d'ailleurs varié cette expérience en mettant une forte bouteille de Leyde en dérivation entre deux points du fil. J'obtenais ainsi un circuit complexe, dont la période était certainement supérieure à celle que l'on obtient sur le circuit du condensateur de l'appareil de Teslà, et les phénomènes ne sont pas changés, sauf que les aigrettes présentent un affaiblissement aux points de contact avec la bouteille, correspondant à un nœud du potentiel moyen du fil. On continue à obtenir les phénomènes de haut potentiel identiques à ceux que l'on obtient sur le tertiaire de l'appareil de Teslà. L'expérience physiologique ainsi conduite permet d'aller plus loin encore, car la sensation n'est pas absolument supprimée, on éprouve un léger picotement dans tout le bras, correspondant certainement à l'existence d'ondes à faible fréquence très affaiblies. Toutes les fois qu'une perturbation se produit dans une des étincelles, on reçoit une secousse notable, mais très supportable encore. Il est donc permis, ce me semble, de conclure que l'étincelle disruptive est un lieu de transformation au moins partielle de l'énergie, où celle-ci prend la forme d'oscillations de haute fréquence, et que cette transformation est d'autant plus complète que l'étincelle est plus nettement disruptive.

VI

La vibration de l'excitateur de Hertz est peut-être complexe. — Nous avons vu dans les dernières expériences la présence d'aigrettes d'apparence périodique distribuées tout le long des fils.

Il semble donc y avoir là une onde électrique stationnaire à très courte période formée le long du fil. La longueur des aigrettes est en effet certainement fonction de la valeur du potentiel au point où elles se forment; mais une autre condition entre aussi en jeu, c'est l'état de la surface du fil conducteur. Les aigrettes doivent sortir mieux aux points où le fil présente une petite aspérité. C'est à cette condition que j'attribue les irrégularités dans la longueur d'ondulation de l'onde visible le long du fil. D'ailleurs les aigrettes ne s'échappent pas seulement aux points brillants qui sont probablement des aspérités du fil, mais aussi aux points voisins, et la décroissance autour des maxima est régulière.

Il faut s'assurer d'abord que ces effets ne sont pas dus uniquement à l'ondulation de l'oscillateur de Hertz formé par les deux fils, considéré au point de vue ordinaire comme donnant sa décharge générale oscillante. Une première raison se trouve dans ce fait, observé par MM. Sarasin et de la Rive, que la longueur totale d'un circuit formé d'un fil circulaire est environ la demi-longueur d'onde de ce circuit. Si donc nous considérons l'étincelle comme un conducteur, la période sera peu modifiée par la courbure des fils, puisque, avec ceux que j'ai employés, le diamètre du cercle aurait de 12 à 15 mètres, et la longueur d'onde correspondant à cet excitateur de Hertz serait de 40 mètres environ. Nous voyons bien, en effet, que les extrémités présentent un maximum de potentiel, donc un minimum de vitesse, et le milieu un minimum de potentiel. Mais l'observation plus précise du phénomène nous montre que la variation du potentiel maximum, au lieu d'être linéaire, ne l'est qu'en moyenne, et qu'elle est composée d'un phénomène à peu près périodique, ayant une longueur d'onde comprise entre 1 et 2 centimètres, dont l'ensemble oscille entre la droite, qui semble représenter le phénomène et zéro.

La figure 11 représente la loi de variation

apparente et réelle du protentiel maximum, en fonction de la distance à l'étincelle.

L'oscillateur constitué comme nous l'avons fait est donc le siège d'une vibration complexe, analogue à celle que prennent certaines cordes vibrantes ou certains intruments à vent, mais avec cette différence que les harmoniques que les aigrettes rendent visibles dans le cas qui nous occupe, ne seraient perceptibles dans aucun instrument de musique, car elles sont de l'ordre de la douzième octave du son fondamental.

Nous voyons ainsi la possibilité pour un circuit quelconque d'être ébranlé par des oscillations rapides de la même manière qu'un cor de chasse peut donner toutes les notes de la

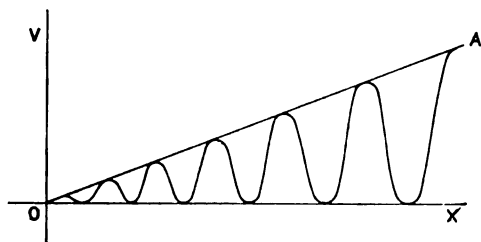


Fig. 11. — OX, distances à l'étincelle: OV. potentiels maxima des points correspondants.

gamme ou à peu près. Cela tient à ce que toute vibration d'une période assez courte sera infiniment voisine d'une harmonique du circuit, et que celui-ci, se comportant comme un tuyau sonore, pourra alors être mis en vibration par cette oscillation. Mais nous pouvons en même temps déduire de là qu'il y a un centre d'excitation où se produisent des oscillations de période voisine de celle que nous observons le long du fil.

Nous devons donc nous attendre, si ceci est exact, à voir les phénomènes rester identiques à eux-mêmes, au moins en ce qui concerne les positions des nœuds et des ventres des oscillations rapides que j'ai décrites, quelles que soient les variations subies par l'excitateur. L'expérience vérifie de tous points cette conclusion. Quand on change la longueur du fil, qu'on le termine par un condensateur d'Œpinus à capacité variable, qu'on supprime complètement l'un des fils, l'intensité des aigrettes subit quelques modifications, mais les points brillants et les positions des nœuds et des ventres restent les mêmes. Si on intercale une forte capacité sur l'un des fils, l'intensité des phénomènes est changée très notablement sur ce fil, les aigrettes étant beaucoup moins intenses. Sur l'autre fil, les aigrettes prennent un éclat plus vif, mais en restant en place. Enfin, quand on met l'un des pôles de la bobine à terre, les aigrettes ont une intensité minima sur le conducteur qui va à terre ; elles prennent au contraire un éclat considérable sur le fil isolé. Il est dangereux, dans ces conditions, de s'approcher de ce dernier fil, et l'observateur placé dans le champ éprouve un malaise tenant certainement à la présence d'oscillations très intenses se propageant dans l'espace entier. On tire des étincelles visibles de tous les corps métalliques de la pièce, et même des tables de bois. Des fils métalliques qui traînent à terre sans communication avec la bobine donnent des étincelles visibles de loin en tous les points où ils touchent la terre. On tire du primaire de la bobine et des accumulateurs qui l'alimentent, des étincelles de 5 et 6 centimètres. L'apparition de tous ces phénomènes ne change pas la position des nœuds et des ventres sur les fils.

Enfin, j'ai tenté une dernière expérience consistant à placer un excitateur à étincelles sur le trajet de l'un des fils. Dans ces conditions, j'ai pu, en laissant au delà de l'excitateur, un bout de fil isolé de 3 à 4 mètres, obtenir des étincelles de 8 ou 10 centimètres. Les aigrettes présentaient encore un nœud en ce point, un ventre moyen à l'extrémité libre B du fil (fig. 12), et un ventre moyen en B′ au milieu de la distance entre les deux excitateurs. Les positions des nœuds et des ventres dues aux oscillations courtes ne sont pas changées quand on supprime l'étincelle latérale ou qu'on la fait jaillir.

Enfin si, au lieu de mettre directement les pôles de la bobine en relation avec l'excitateur à étincelles, on les réunit à celui-ci par l'intermédiaire de fils longs et assez fins, ceux-ci sont

le siège d'aigrettes identiques à celles des fils unipolaires.

De nombreux fils ont été essayés pour ces expériences; j'ai employé des fils de cuivre depuis $0^{mm},02$ jusqu'à 2 millimètres de diamètre, j'ai employé des fils de fer et des fils de platine. J'ai employé aussi des fils nus et des fils couverts de soie. Les phénomènes sont les plus beaux aux environs de $0^{mm},25$ de diamètre. Sur tous ces fils, quand les aigrettes sont visibles, elles ont les mêmes caractères, les mêmes longueurs d'onde moyennes.

Enfin, je veux noter un dernier point, c'est

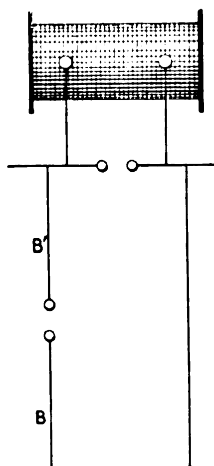


Fig. 12. — o o, étincelles.

que j'ai vu plusieurs fois le fil de 0,02 mm. se rompre sans rougir, bien qu'il ne fût pas tendu. Ceci est peut-être à rapprocher des ondulations des fils de platine soumis aux oscillations de Teslà, qui ont été signalées par M. Himstedt, et que j'ai observées de mon côté.

Nous conclurons de ceci qu'un circuit métallique peut propager des vibrations autres que celles qui sont calculées par la formule de Thomson, et que l'excitateur de Hertz doit probablement donner une oscillation complexe, dont la composition dépend essentiellement du diélectrique où jaillit l'étincelle.

Je ne prétends pas par là me prononcer contre la théorie de la résonance multiple qui a été donnée par MM. Poincaré-Bjerknes, théorie mathématiquement certaine, mais il me semble que cette étude directe montre bien que les phénomènes ne sont pas aussi simples qu'on l'a cru. L'oscillation de l'excitateur de Hertz doit être une oscillation complexe amortie.

VII

Rôle du diélectrique. — De ce qui précède il résulte que les oscillations rapides dont l'étincelle est le siège dépendent du diélectrique rompu par celle-ci. La longueur d'ondulation des ondes stationnaires manifestées par les aigrettes indique pour l'étincelle jaillissant dans l'air des oscillations de l'ordre de $\frac{1}{10^{10}}$; pour l'étincelle jaillissant dans le pétrole, des oscillations de l'ordre de $\frac{1}{2.10^{10}}$, et pour les étincelles jaillissant à travers du carton, environ $\frac{1}{4.10^{10}}$. L'approximation de ce dernier nombre est moins bonne encore que celle des précédents, car l'expérience avec le carton est toujours très courte, et le phénomène n'est jamais d'une pureté absolue. Il y a toujours, en effet, un peu d'air traversé, et on a la superposition des deux ordres d'aigrettes. Celles du carton sont cependant assez prépondérantes pour être nettement visibles. Il me semble rationnel d'admettre que ces phénomènes sont dus à la rupture du diélectrique. Mais dans celui-ci, nous avons à considérer deux éléments, la matière et l'éther, dont les oscillations constituent les phénomènes électriques que l'expérience vient de nous montrer. J'ai cherché à approfondir le rôle que l'éther pouvait avoir au moment de l'étincelle; il me semblait en effet impossible d'admettre dans l'étincelle une énergie assez grande pour transmettre à des molécules matérielles un mouvement aussi rapide que celui dont il est question et que celles-ci devaient ensuite transmettre à l'éther pour produire les effets électriques observés. Ceci était soumis immédiatement à une objection grave, relative à la résistance absolue du vide, mise en évidence par les tubes de Hittorf. Dans ceux-ci, en effet, l'étincelle élec-

trique passe entre les électrodes qui amènent le courant avant de produire un phénomène quelconque dans le tube, où la raréfaction a été poussée aussi loin que possible. Mais Edlund et Goldstein pensent avec quelque raison que la résistance des tubes est due principalement à la résistance énorme au passage de l'électricité du métal dans le milieu ambiant, qui croît très vite lorsque la raréfaction de celui-ci dépasse une certaine limite.

Les phénomènes qui se passent dans les gaz raréfiés empêchent la tension aux électrodes de devenir assez grande pour provoquer une décharge disruptive. Je me suis demandé si, en admettant les idées ci-dessus, on ne pouvait arriver dans un vide assez parfait, avec des électrodes assez rapprochées et une énergie suffisante à observer un véritable phénomène disruptif, une étincelle jaillissant entre les deux électrodes. J'ai employé pour cela des tubes de Hittorf à électrodes distantes de 1,5 mm. environ, et de la grosseur ordinaire, construits pour résister à des étincelles de 8 centimètres. En les excitant par la grosse bobine que j'ai déjà employée, et avec six accumulateurs, j'ai en effet observé d'abord des phénomènes cathodiques spéciaux, puis en même temps une étincelle entre les deux électrodes. Mais l'expérience a été arrêtée immédiatement, car les électrodes sont devenues incandescentes et ont fondu presque aussitôt. Pour éviter que l'étincelle ne jaillît entre les armatures du tube, je le plongeais dans le pétrole.

J'ai enfin fait construire un tube de 12 cm. de long, muni de fortes électrodes de platine terminées en pointes, et distantes de 1/2 mm. Dans ces conditions, même avec une petite bobine, quand on emploie une énergie suffisante, on arrive à voir quelques traces de phénomènes cathodiques, et une étincelle régulière entre les deux pointes. Celle-ci se transforme certainement aussitôt en un véritable arc, mais elle apparaît cependant avant que les électrodes ne rougissent. On doit donc penser qu'un phénomène disruptif existe au commencement, et que par conséquent l'éther seul est susceptible de devenir le siège d'un phénomène de cette espèce. Nous ne devons donc plus nous étonner, si cela est admis, de voir l'élasticité énorme de l'éther lui-même entrer en jeu pour le retour à l'équilibre après l'étincelle, et celle-ci devenir le siège des ondes énergiques à oscillations extrêmement rapides que l'expérience nous a montrées.

Bien que cette idée de la rupture de l'éther puisse répugner à beaucoup d'esprits, il est à noter qu'elle avait été émise à l'état d'hypothèse par sir William Thomson à sa conférence du 29 septembre 1884 à l'Académie de musique de Philadelphie. J'en extrais les lignes suivantes : « Ce que nous savons de l'éther lumineux, c'est qu'il a la rigidité d'un solide, et qu'il cède graduellement. S'il est ou n'est pas cassant, et s'il se crevasse, nous ne pouvons le dire ; mais, à mon sens, les découvertes en électricité et les mouvements des comètes, ainsi que les merveilleuses traînées de lumière qui en jaillissent, tendent à faire croire à l'existence de crevasses dans l'éther lumineux, montrent qu'il y a corrélation entre l'éclair électrique et l'aurore boréale, et la production de crevasses dans l'éther lumineux. Ne prenez pas ceci pour une affirmation, ce n'est guère plus qu'un rêve scientifique. »

Sans avoir la prétention d'avoir fait passer ce rêve dans le domaine des faits scientifiquement établis, il me semble que les phénomènes précédents, qui sont bien coordonnés par cette hypothèse, viennent lui donner une certaine vraisemblance. D'ailleurs il ne répugne pas à l'esprit que deux molécules d'éther, douées certainement d'actions réciproques puissent être, comme des molécules de corps matériels, rejetées par une action brusque assez loin l'une de l'autre pour sortir de leur sphère d'action. Si ce phénomène se passe sur toute une surface, le phénomène sera tout à fait analogue à la rupture d'un solide, et les oscillations de retour à l'équilibre seront dans l'éther d'un autre ordre de rapidité que celles qui seraient émises par un corps matériel rompu. Cette manière de voir serait d'ailleurs une confirmation des expériences de M. Heydweiller (*Wied. Ann.*, t. XLIII, p. 310-342). Celui-ci a montré que la perte

d'énergie dans l'étincelle jaillissant dans l'air ne pouvait raisonnablement s'expliquer par la chaleur de Joule développée dans l'étincelle considérée comme un conducteur, mais qu'il y avait à côté de ce phénomène un autre phénomène plus important, la faible chaleur de Joule dégagée à l'étincelle ne pouvant expliquer son rayonnement puissant. Une partie de l'énergie est bien employée dans l'air à produire les ondulations sonores qui accompagnent l'étincelle. Mais cette énergie est hors de proportion, avec l'énergie disponible dans une étincelle puissante. M. Heydweiller nous montre qu'une quantité notable d'énergie est employée à autre chose qu'un échauffement de l'air, et nous devons chercher la cause de cette absorption d'énergie ailleurs que dans la production du son. Ce phénomène se passe, je crois, dans l'éther lui-même qui est rompu, et fait de l'étincelle un puissant centre de rayonnement électrique, calorifique et lumineux. En conséquence, l'étincelle émet un spectre bien plus complet pour les radiations à grande longueur d'onde que les autres sources lumineuses connues.

VIII

Conclusions. — Peut-être les phénomènes que je viens d'exposer permettent-ils de se rendre compte de quelques faits encore mal expliqués. Les oscillations rapides dont l'étincelle est le siège entrent comme perturbations dans un grand nombre de phénomènes. Les hautes fréquences se présentent dans les études électriques comme en optique les phénomènes de diffraction si difficiles à produire purs, et si gênants comme complication des autres phénomènes. La formule de Thomson n'est peut-être pas absolument applicable, quand l'équilibre est rétabli par l'intermédiaire d'une étincelle; nous devons donc nous attendre à des perturbations, d'où proviennent peut-être les mécomptes qu'ont donnés les premières expériences de Hertz, où la période calculée de l'excitateur n'était probablement pas exacte, même après les corrections du calcul. Au contraire, les résultats les plus nets ont été donnés par le résonateur de M. Blondlot, lequel fonctionne par induction, l'étincelle n'ayant qu'une énergie très faible et un rôle secondaire. Dans ce cas, le résonateur donne son son fondamental.

Dans le cas où une étincelle jaillit dans un circuit, peut-être y aura-t-il donc lieu de revenir, en partie au moins, aux idées émises il y a quelques années par M. Brillouin, pour qui l'étincelle joue, par rapport aux circuits électriques, le rôle de l'anche dans les instruments de musique.

Tous ceux qui ont fait des expériences de hautes fréquences savent quelle est l'importance de la nature de l'étincelle dans ces expériences. Il faut qu'elle soit nettement disruptive. Les calculs tels qu'on les fait aujourd'hui ne nous donnent que des notions bien difficiles à coordonner sur le rôle des conducteurs dans les oscillations rapides. Cela tient, je crois, à la difficulté qu'on éprouve à s'affranchir de la notion de quantité d'électricité. Cette notion coordonne bien les faits relatifs à l'électricité statique. Pour les courants continus elle satisfait mal l'esprit, car ce n'est pas dans le sens du flux hypothétique qu'est amenée l'énergie qui se manifeste sous forme de chaleur de Joule ou d'énergie mécanique. Dans le cas de hautes fréquences, cette notion devient absolument insaisissable. Il me semble au contraire possible de se faire une idée nette du rôle des conducteurs dans les oscillations de haute fréqnence. Admettons que le vecteur électrique leur est constamment normal, ce qui semble prouvé expérimentalement par les aigrettes de M. Teslà; admettons, comme je viens de le démontrer, que l'étincelle disruptive est un centre d'ébranlement; le calcul pourra peut-être nous éclairer sur le rôle des conducteurs en considérant ceux-ci comme des surfaces limites du milieu ébranlé par l'étincelle, assujettis à ce que le vecteur électrique leur soit constamment normal. Je ne sais quels pourront être les résultats de ce calcul devant lequel j'ai reculé jusqu'ici, mais

j'ai tenu à en indiquer le principe, qui me semble découler du travail que je viens d'exposer.

A. BROCA.

MODIFICATION DES CARACTÉRISTIQUES

AVEC

L'ENTREFER DES DYNAMOS

A COURANTS CONTINUS

Les problèmes qui peuvent être résolus au moyen des caractéristiques sont nombreux et toute solution simple d'un cas quelconque mérite d'être rappelée.

L'un des procédés particulièrement commodes pour l'étude d'une machine donnée ou construite consiste à relever sur cette machine une série de courbes à vitesse constante, les abscisses étant proportionnelles aux ampère-tours d'excitation et les ordonnées proportionnelles aux différences de potentiel aux bornes, la dynamo étant d'abord à circuit ouvert, puis à circuit fermé sur des résistances variables pour maintenir toujours le débit constant dans l'induit ; pour le tracé de ces courbes l'excitation doit être fournie par une source extérieure, soit une dynamo auxiliaire, soit une batterie d'accumulateurs.

Ces caractéristiques permettent au constructeur d'étudier toutes les modifications de régime susceptibles d'être apportées à la carcasse de la dynamo.

A côté de cette question dans le détail de laquelle nous ne rentrerons pas, il se présente souvent que des modifications apportées au bobinage des induits entraînent des modifications légères à la carcasse — par exemple, nécessitent une augmentation du diamètre d'alésage des masses polaires.

Les caractéristiques de la machine modifiée peuvent se déduire facilement des courbes relevées avec l'ancien alésage.

Considérons d'abord la caractéristique à circuit ouvert.

A une échelle indéterminée, pour le problème qui nous occupe, cette caractéristique des f. é. m. à circuit ouvert représente également la caractéristique des flux à travers l'induit pour les valeurs variables de la force magnétisante.

Si nous nous rappelons la méthode employée pour la détermination des caractéristiques, d'après Hopkinson, la courbe des flux est obtenue, pour chaque valeur de φ, en faisant la somme des forces magnétomotrices, ou des forces magnétisantes à un facteur constant près, nécessaires pour faire circuler le flux considéré à travers les différentes parties du circuit magnétique.

Pour les inductions faibles, la seule force

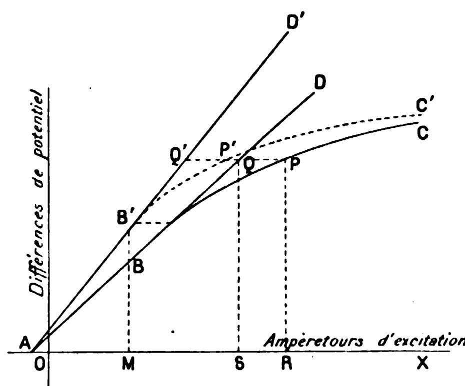


Fig. 1.

magnétisante nécessaire est approximativement celle nécessitée par l'entrefer ; et, par suite, si nous considérons une caractéristique à circuit ouvert, telle que celle de la figure 1, nous pouvons, sans erreur sensible, la décomposer en deux portions ; l'une AB située au-dessous du coude de la courbe et sensiblement rectiligne ; l'autre, BC, représente la partie infléchie de la caractéristique.

On peut admettre, avec l'approximation indiquée plus haut, que AB indique la variation du flux dans l'entrefer suivant les valeurs de la force magnétisante. Comme la réluctance de l'entrefer est simplement proportionnelle à sa longueur, l'inclinaison de AB sur l'axe des abscisses ou la tangente de DAX sera inversement proportionnelle à l'entrefer.

Donc pour une variation de l'entrefer de l_1,

à l_2, l'ordonnée BM de la partie droite de la caractéristique prendra une nouvelle valeur

$$B'M = BM \frac{l_1}{l_2},$$

et la partie droite de la nouvelle caractéristique prendra la position AB'.

Considérons maintenant un point P de la portion infléchie de la caractéristique primitive.

Prolongeons indéfiniment AB, et menons PQ parallèle à OX. Soit OR l'abscisse du point P et RS = PQ, Q étant l'intersection de PQ et de AB.

OR est la force magnétisante correspondant au point P de la courbe et nous avons

$$OR = OS + SR$$

OS n'est autre que la force magnétisante nécessaire pour faire passer le flux en question dans l'entrefer tandis que SR représente la force magnétisante nécessaire pour vaincre la réluctance des autres parties du circuit magnétique.

RS étant indépendant de l'entrefer, pour avoir la position du point P après la modification de l'alésage, il suffira de prolonger PQ jusqu'à Q' à l'intersection de AB' prolongée et de porter Q'P' = QP. P' sera le point cherché.

Ceci posé, voyons comment nous transformerions une caractéristique tracée comme nous l'indiquions pour un débit constant I de l'induit.

Il faudra admettre pour la justification du procédé que la variation apportée à l'entrefer est assez limitée pour ne pas affecter trop sensiblement la réaction d'induit. Si la variation de l'entrefer est notable, la méthode, au moins, en ce qui concerne les caractéristiques en charge, n'est plus qu'une solution approximative.

Supposons que, dans la figure 2, on ait reporté la caractéristique à circuit ouvert ABC et la caractéristique relevée aux bornes de l'induit pour un débit constant I_0, avec l'entrefer l_1, primitif ainsi que la caractéristique à circuit ouvert nouvellement déterminée, comme plus haut A'B'C' pour l'entrefer l_2.

Nous remplacerons d'abord F_0G_0 par une courbe FG telle que ses ordonnées soient égales à celles de F_0G_0 augmentées de la perte ohmique dans l'induit pour le courant I_0.

Considérons un point M de FG et cherchons sa nouvelle position.

Menons de M une parallèle à OX jusqu'à la rencontre de la courbe ABC et soit OV l'abscisse de N.

OT, abcisse du point M peut se décomposer en deux parties :

$$OT = OV + VT$$

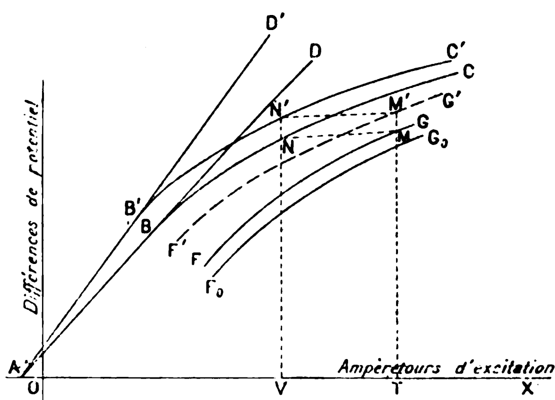


Fig. 2.

OV représente la force magnétisante nécessaire pour obtenir la différence de potentiel VN = MT à circuit ouvert pour l'entrefer l_1.

VT représente la force magnétisante nécessaire pour compenser la réaction d'induit. Or, avec le nouvel entrefer l_2 laforce magnétisante donne une différence de potentiel à circuit ouvert égale à ON' ; et puisque nous admettons que le changement d'entrefer n'a pas troublé sensiblement la réaction d'induit, on obtient la nouvelle position cherchée du point M en reportant N'M' égale et parallèle à NM.

Ce procédé graphique est d'une application simple et rapide et nous a été souvent très utile.

E.-J. Brunswick.

REVUE

DE LA PRESSE INDUSTRIELLE

ET DES INVENTIONS

Balais en charbon du professeur Thomson pour machines à bas potentiel [1].

Si les balais en charbon ont été un véritable succès pour les machines à haut potentiel, ils n'ont pas donné autant de satisfaction pour celles à bas potentiel, de 110 volts et au-dessous. Ce fait doit être naturellement attribué en grande partie à la chaleur développée dans les charbons par les courants intenses et à la pression supplémentaire nécessaire à l'obtention d'un bon contact.

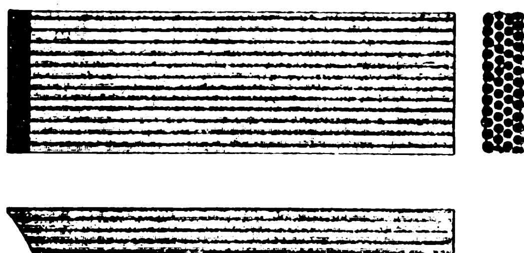


Fig. 1.

Pour surmonter cette difficulté on a, entre autres moyens, eu recours au mélange d'une substance plus ou moins conductrice avec le charbon. Le professeur Thomson a cependant imaginé récemment un autre procédé que la figure ci-dessous permet de comprendre aisément.

Au lieu d'employer un bloc massif, on se sert d'un certain nombre de petites baguettes de charbon revêtues d'une mince couche de cuivre. Ces baguettes cuivrées sont réunies dans la forme et les dimensions voulues de manière à donner au balai l'épaisseur, la longueur et la largeur qu'il doit avoir, et soudées ensuite, c'est-à-dire reliées par un certain nombre de points de soudure de manière à se tenir ensemble.

[1] *Electrical Engineer*, N. Y.

La surface du balai qui porte sur le commutateur se brise en facettes, et le courant capté par les facettes de charbon se transmet immédiatement au métal qui réunit les baguettes pour traverser l'ensemble surtout par la couche métallique. Cette couche est si fine que, au moment où elle touche le commutateur en un point quelconque, son extrême conductibilité lui fait dériver assez de courant pour déterminer sa désagrégation immédiate, de sorte que les surfaces de charbon s'usant sans cesse, le métal se trouve brûlé sur une petite longueur en avant au fur et à mesure que le charbon se présente.

Ce mode de construction permet également de faire varier la conductibilité du balai suivant le courant à capter, et le potentiel de la dynamo règle la quantité de métal à employer comparativement à celle du charbon ; autrement dit, en galvanisant les baguettes davantage, on peut augmenter la conductibilité entre certaines limites et, en les revêtant d'une couche métallique plus mince, on est à même de réduire à volonté cette conductibilité.

E. B.

Méthode d'Henry pour la localisation des fautes dans les chemins de fer électriques.

Sur les chemins de fer électriques tels qu'ils sont ordinairement établis toute faute dans la voie doit être recherchée entre les points où les feeders se relient au circuit, et les méthodes mises en œuvre jusqu'ici pour les découvrir consistent uniquement dans l'emploi d'instruments d'épreuves spéciaux ou dans une exploration comportant, dans les villes, un défoncement plus ou moins important du sol des rues, et par suite une interruption du service. Indépendamment de cet inconvénient, on peut encore objecter à ces méthodes l'impossibilité pratique de révéler l'état de toute la ligne à un moment quelconque, en raison du temps exigé par les diverses épreuves. C'est pour remplacer ces méthodes et permettre d'éprouver aisément la ligne chaque jour, si on le désire, que M. J. C. Henry a imaginé le pro-

cédé illustré dans la figure ci-dessous, extraite de l'*Electrical Engineer*.

Elle consiste, en deux mots, à ajouter un conducteur supplémentaire de retour B¹BB² divisé en sections et connecté par des interrupteurs à ressorts F; chacune des sections est reliée à la ligne et disposée de manière à permettre l'insertion d'un ampèremètre entre elles ou entre le fil supplémentaire et sa connexion avec la ligne pour la mesure de l'intensité.

Dans le montage habituel, le courant principal revient par la ligne et le conducteur de retour ordinaire souterrain y est relié pour diminuer la résistance. Le conducteur supplémentaire B a une résistance relativement

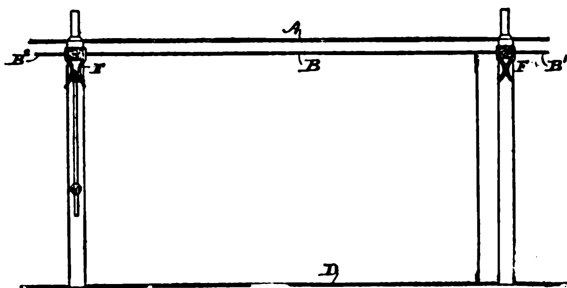


Fig. 1.

élevée. Il ne sert couramment à ramener qu'une faible fraction du courant à l'usine centrale. Mais, si une faute survient dans la ligne de retour, le courant, au lieu de passer par le point défectueux, se fraie une autre voie par le fil de haute résistance BB¹B², dont la résistance sur une faible longueur est nécessairement inférieure à celle d'une faute sérieuse quelconque dans la ligne de retour. Au delà de la faute, au contraire, le courant continue à s'écouler surtout par le circuit de ligne, de sorte que le conducteur supplémentaire forme une dérivation autour de la faute, sans troubler en rien le fonctionnement ordinaire de la ligne et de son retour souterrain comme conducteur. La section de conducteur supplémentaire formant dérivation porte, aux environs de la faute, un courant beaucoup plus intense que ses autres sections dont la résistance, loin de faciliter le passage du courant, le confine dans la ligne. Il en résulte que les ampèremètres insérés entre les sections ou dans le branchement indiqueront le passage d'un courant plus intense dans une section que dans les autres, localisant ainsi la faute qui pourra être promptement réparée.

Pour permettre un contrôle plus rapide, l'ampèremètre se monte sur chaque poteau, ses bornes reliées à des fils disposés à cet effet; l'opérateur peut ainsi, en suivant la voie d'un poteau à l'autre et appliquant son instrument sur chacun d'eux, prendre rapidement des lectures exactes. Les prises de courant sont naturellement placées au-dessus du sol assez haut pour être à l'abri de la curiosité ou de la malveillance.

E. B.

Le vocabulaire télégraphique officiel.

Depuis la publication du Code télégraphique officiel, élaboré par le Bureau télégraphique international de Berne en exécution d'une résolution du Congrès télégraphique de Paris, les spécialistes ont eu le temps d'étudier et de critiquer ce travail. Des essais, qui en ont été faits un peu partout, n'ont pas donné satisfaction aux intéressés, et le *Journal de la Chambre de Commerce*, de Londres, s'est fait l'écho des plaintes du public commercial.

Comme ce vocabulaire ne doit devenir d'un usage obligatoire en Europe qu'au 1er janvier 1898, le Bureau de Berne est à même de reviser son œuvre, pour en faire un code réellement pratique. Pour arriver à ce but, la Chambre de Commerce de Londres s'est adressée en vue d'une action commune aux Chambres étrangères. Des adhésions lui sont parvenues de partout, et la Chambre de Commerce du Havre, entre autres, non contente de présenter ses objections au gouvernement, s'est adressée au Parlement afin d'appuyer les réclamations de la Chambre londonienne.

Les compilateurs du vocabulaire avaient posé dans la préface les conditions suivantes :

« Afin d'établir une dissemblance typographique et télégraphique complète entre les

différents mots, il est nécessaire que chacun diffère de tous les autres, au moins par deux lettres et par trois signaux Morse élémentaires. Un certain nombre de mots, toutefois peuvent ne différer entre eux que par deux signaux télégraphiques, mais ils doivent différer suffisamment dans leurs caractères typographiques... »

Or, le vocabulaire ne satisfait même pas aux conditions que se sont eux-mêmes imposées ses auteurs. Dans un examen rapide on y a trouvé :

142 mots, dont chacun est l'équivalent télégraphique d'un autre mot, ou est transmis par des signaux identiques,

122 mots ne différant d'autres mots que par un seul signal,

222 mots ne différant d'autres mots que par une lettre,

152 mots ne différant d'autres que par le préfixe,

88 mots n'ayant que deux lettres différentes,

10 erreurs typographiques et transpositions,

37 articles communs,

25 noms de jours et de mois,

6 termes de service télégraphique;

13 noms de monnaies et mesures,

38 noms de nombres,

24 noms de lieux et de régions,

108 noms de maisons anglaises,

53 noms de maisons étrangères.

Rien d'étonnant, par conséquent, que les erreurs de transmission ou de transcription soient nombreuses, comme en ont fait l'expérience les personnes qui ont essayé de se servir du Code officiel.

Ce vocabulaire, comprenant 256 000 mots parmi lesquels des noms géographiques comme Himalaya, Illyricum, etc., et des noms propres comme Erasmus, etc., est inférieur au Code Whitelaw donnant plus de 300 000 mots sans recourir aux noms propres ou géographiques. Aussi, peut-on espérer que le Bureau international, conscient de ces imperfections, remédiera aux défauts signalés. Mais il est nécessaire d'obtenir une action d'ensemble de divers gouvernements, et nous avons cru intéressant de signaler les efforts tentés dans cette direction par les Chambres de Commerce.

A. H.

Sur le rendement des appareils électrolytiques, par Hurter (1)

Dans le *Journal de la Société de l'Industrie chimique*, d'Angleterre, le Dr Hurter donne sur ce sujet les résultats d'expériences faites au laboratoire de la Compagnie United Alkali. L'auteur fait remarquer que la valeur industrielle de tout procédé électrolytique dépend, premièrement, du prix de revient de l'énergie électrique, et, deuxièmement du rendement de l'appareil qui sert à transformer l'énergie électrique en énergie chimique potentielle; interviennent de plus le coût de l'appareil, son entretien, sa durée, et, finalement, la proportion de travail manuel que comporte le procédé. Il est donc assez difficile de faire un choix entre les divers procédés.

En ce qui concerne le prix d'établissement d'une cuve électrolytique, on peut le déterminer avec assez de précision, mais la durée et l'entretien de l'appareil sont moins faciles à évaluer.

Pour exprimer le rendement d'un procédé électrolytique de fabrication, l'auteur donne la préférence à l'indication de la quantité de produit obtenue par kilowatt-heure, ou réciproquement, du nombre de kilowatts-heures nécessaires pour la fabrication d'un kilogramme de produit. Or l'énergie dépensée dépend, comme on sait, du mode de construction de la cuve et de la grandeur de la polarisation. Pour estimer la valeur d'un procédé, il est donc nécessaire de connaître l'intensité de courant, la f. é. m. de polarisation et la résistance de la cuve, et comme les données qui permettraient de calculer ces facteurs sont rares, il est impossible de prédire exactement les résultats qu'on peut attendre de tel ou tel procédé.

(1) *The Electrician*, 9 août 1895.

L'auteur a fait du « rendement électrique ». l'objet de recherches spéciales; il se propose d'en donner ultérieurement les résultats complets. Il fait observer que si les produits de l'électrolyse pouvaient être séparés au fur et à mesure de leur production, on obtiendrait toujours exactement l'équivalent électro-chimique. On n'a pas jusqu'à présent réalisé cette condition, quoique l'appareil Castner, dans lequel le sodium déposé forme un amalgame avec l'électrode mobile de mercure, s'approche le plus près de la solution.

La difficulté de la séparation résulte de la migration des ions, étudiée par Hittorf de 1853 à 1859, dont l'importance théorique n'a été reconnue que récemment, et dont l'importance pratique ne se manifeste qu'aujourd'hui. Dans ses expériences, Hittorf séparait souvent les électrodes par quatre ou cinq diaphragmes, de façon que seul l'éloignement rapide des produits de l'électrolyse puisse empêcher la migration et la perte d'énergie qu'elle entraîne.

Un autre facteur important est la force contre-électromotrice de polarisation, qui, ainsi qu'on le sait maintenant, ne peut être calculée exactement par les données thermo-chimiques. Il est donc préférable de mesurer la force électromotrice de polarisation directement, détermination pour laquelle l'auteur emploie de préférence la méthode suivante :

Le courant passe à travers une longue cuve entre les électrodes placées aux deux extrémités. On introduit entre ces deux électrodes une très petite électrode auxiliaire, reliée à l'anode par l'intermédiaire d'un voltmètre de 1000 ohms de résistance. Après une première lecture on relie l'instrument de la même façon à la cathode, et l'on fait une autre lecture. On mesure aussi la différence de potentiel aux bornes de la cuve.

Soient V_t la différence de potentiel totale aux bornes de la cuve, V_a la différence de potentiel entre l'électrode auxiliaire et l'anode, V_c la différence de potentiel entre l'électrode auxiliaire et la cathode ; la force électromotrice de polarisation est alors donnée par

$$e = V_t - (V_a + V_c).$$

Les méthodes employées pour les déterminations sur les appareils industriels sont différentes : 1° on fait passer dans l'appareil le courant normal, et quand l'électrolyte se trouve dans les mêmes conditions qu'en fonctionnement normal, on interrompt le courant, et immédiatement après on mesure à l'aide d'un voltmètre la force électromotrice ; par cette méthode on trouve habituellement une valeur trop petite de e; 2° on fait passer successivement dans le liquide des courants de différentes intensités, et l'on mesure chaque fois la différence de potentiel aux bornes de la cuve. On obtient alors

$$e = \frac{V_2 I_1 - V_1 I_2}{I_2 - I_1}.$$

Il est bon d'employer trois intensités de courant différentes, dont une au-dessus de l'intensité normale, une autre au-dessous et de prendre la moyenne des valeurs de e ainsi de suites car la f. é. m. n'est pas constante mais augmente avec le courant.

Cette dernière méthode présente l'avantage de permettre le calcul de la résistance. La résistance dépend tellement de la forme et de la construction des cuves, qu'il n'est pas possible de la prédéterminer avec quelque précision. Elle se compose principalement de la résistance de l'électrolyte et de celle du diaphragme, celle des parties métalliques étant négligeable.

Comme dans beaucoup de procédés le charbon est la seule matière utilisable pour constituer l'anode, l'auteur a fait des expériences sur des plaques et des crayons provenant de différents fabricants. Les résultats de ces expériences sont donnés sous forme de tableaux pour le détail desquels nous renverrons le lecteur au mémoire original. Il en résulte, en résumé, que ce sont les charbons de plus haute conductibilité qui se désagrègent le plus facilement, mais ils deviennent plus résistants à l'attaque après avoir subi une cuisson à très

haute température, en même que leur conductibilité est augmentée.

Quant aux diaphragmes, leur résistance forme une partie considérable, sinon la plus grande partie de la résistance totale ; mais la résistance est, en général, d'autant moins grande que le diaphragme est moins efficace dans son rôle d'obstacle à la diffusion. Des expériences faites sur des lames de bois de 1,5 à 3 mm. d'épaisseur ont montré que la résistance est très élevée ; une lame de 0,15 mm., par exemple, présente autant de résistance qu'une plaque de ciment de 10 mm. d'épaisseur. A. H.

Un nouveau moteur asynchrone à courants alternatifs, par G. Benischke (¹).

On connaît les élégantes expériences de E. Thomson sur l'induction mutuelle et l'effet d'écran électrodynamique. Stefan avait déjà montré ces effets dans des expériences avec des oscillations électriques rapides et en a déduit son principe du moindre travail magnétique.

En partant de ce principe, l'auteur a réussi à établir un alterno-moteur, exerçant un couple à toutes les vitesses et démarrant automatiquement sous toutes les charges. Ce dernier point n'est réalisé dans aucun autre moteur, car même les moteurs Brown nécessitent un commutateur de démarrage.

Les figures 1 et 2 représentent schématiquement ce nouveau moteur. Un disque de cuivre massif S, mobile autour d'un axe A, tourne entre deux paires de plaques de cuivre PP. Celles-ci sont placées entre les pôles M d'électro-aimants disposés dissymétriquement, comme l'indique la figure.

Les actions entrant en jeu sont les suivantes : les électros à courants alternatifs M induisent dans les plaques de cuivre fixes P des courants fermés sur eux-mêmes, et d'une intensité telle qu'ils détruisent l'action inductrice des pôles M sur la partie du disque comprise entre les plaques ; c'est-à-dire que ces courants protègent cette partie du disque contre l'induction. A côté des plaques, au contraire, le disque S est en *a* le siège de courants induits de même sens que dans les plaques. Ces groupes de courants s'attirent et provoquent par conséquent une rotation du disque dans le sens indiqué par la flèche.

Comme l'armature (si l'on peut appeler ainsi le disque S) ne contient pas de fer et que la cause de la rotation réside dans l'attraction des courants induits en P et en S, ce moteur est indépendant de la fréquence du courant, et se met en marche sous une charge quelconque, proportionnée à ses dimensions.

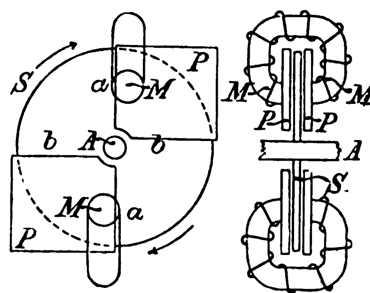


Fig. 1 et 2. — Schéma du moteur synchrone à courants alternatifs de Benischke.

Il est important pour le fonctionnement de cette machine que la partie du disque recouverte par les plaques soit exempte de toute action inductrice, c'est-à-dire que ces plaques forment des écrans absolus. Lorsqu'il n'en est pas ainsi, la rotation du disque subit un amortissement plus ou moins grand. L'effet d'écran est complet quand il n'existe pas de lignes de force entre les plaques de cuivre. Ce cas est en même temps celui correspondant au minimum du travail d'aimantation total des courants inducteur et induit. D'après Stefan, cet état de choses existe quand la résistance des plaques pour les courants fermés sur eux-mêmes est infiniment petite.

Pour le courant induit i', on a en effet l'équation

$$M\frac{di}{dt} + L'\frac{di'}{dt} + r'i' = 0 \qquad (1)$$

en désignant par i le courant inducteur,

(¹) *Elektrot. Zeitschr.*, 13 juin 1895.

par M le coefficient d'induction mutuelle, par L' le coefficient de self-induction et par r' la résistance opposée au courant induit. Pour r' négligeable, on a

$$Mi + L'i' = 0. \qquad (2)$$

C'est également là la condition pour le minimum du travail d'aimantation

$$Mii' + \frac{L'i'^2}{2} \qquad (3)$$

des deux courants, avec une valeur donnée de i.

Comme Mi représente le nombre de lignes de force partant des électros M et venant frapper les plaques P, et comme $L'\,i'$ est le flux émanant des courants induits dans les plaques, l'équation (2) indique donc que la somme de toutes les lignes de force dans l'espace entre les plaques est nulle. L'épaisseur des plaques doit donc être telle que leur résistance soit réellement négligeable; c'est ce qu'on reconnaît, à la petitesse de l'échauffement, puisque celui-ci ne dépend que du troisième terme de l'équation (1).

L'auteur à obtenu ce résultat dans un premier modèle de son moteur; il a constaté le fait en examinant le fantôme du champ (il est intéressant de remarquer à ce propos qu'avec de la limaille de fer, on arrive très bien à représenter la distribution des lignes de force d'un champ alternatif).

L'équation (1) nous apprend encore que les courants i et i', sont à chaque instant de sens contraires, et présentent donc entre eux une différence de phase de 180°.

Mais les lignes de force inductrices n'arrivent qu'en partie sur les plaques. Une autre partie rencontre le disque de cuivre à côté des plaques, en a, et induit là un courant i''. On choisira donc aussi le disque de cuivre d'une épaisseur telle que sa résistance soit négligeable. Il ne s'échauffe alors pas d'une manière appréciable, et l'on a

$$M'i + L''i'' = 0 \qquad (4)$$

C'est-à-dire que dans le disque lui-même la somme des lignes de force inductrices et induites est nulle, et que le disque n'est pas soumis à un amortissement. On voit, en outre, que i et i'' sont de sens contraires, et que les courants i' dans les plaques ont même phase que les courants i'' dans le disque; leur attraction est donc à chaque instant proportionnelle au produit $i'\,i''$.

Si I' et I'' sont les valeurs maxima de ces courants périodiques, on voit que le couple est proportionnel au produit $I'\,I''$, donc aussi à l'induction mutuelle et au carré de l'intensité du courant inducteur.

Les plaques formant écran doivent arriver jusqu'au bord du disque, pour éviter que les lignes de force des pôles M ne rencontrent le disque en cet endroit. Mais on ne peut éviter dans cette disposition que des lignes de force passent par-dessus les bords b. L'emploi d'un cylindre au lieu du disque (fig. 3) est beaucoup plus avantageux, parce que les pôles M ne peuvent agir sur le disque S autre part que près du bord a des écrans P.

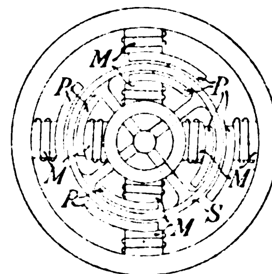


Fig. 3. — Moteur Benischke, à cylindre.

Ce moteur complètement asynchrone présente d'ailleurs l'avantage de ne pas donner de perte par hystérésis dans l'armature, puisque celle-ci ne contient pas de fer.

A. H.

Expériences sur la capacité propre des bobines par A. S. Kimball. (1)

Sous la direction de l'auteur quelques expériences ont été faites sur les effets produits dans certains cas par la capacité qu'introduit

(1) *Electrical World*, 13 juillet 1895.

dans les bobines le diélectrique qui sépare les spires.

Une bobine de 100 000 ohms enroulée non-inductivement et saturée de paraffine fut placée, d'abord aux bornes d'une batterie d'accumulateurs, puis dans un circuit à courants alternatifs de 121 périodes par seconde. Dans les deux cas, la différence de potentiel aux bornes de la bobine était réglée à la même valeur et on mesurait le courant. Deux expériences ont donné les résultats suivants :

Différence de potentiel	Courant continu en milliampères.	Courant alternatif en milliampères.
190 volts	1,89	6,40
247 »	2,46	8,21

La capacité de la bobine avait donc pour effet de tripler le courant alternatif, ou de réduire au tiers la résistance apparente.

Avec des courants de différentes fréquences les valeurs de la résistance apparente étaient les suivantes :

Courant continu.	100000 ohms
Courant alternatif à 21 périodes par seconde.	71000 »
121 périodes par seconde.	30000 »
124 périodes par seconde.	28000 »

Nous n'insisterons pas autrement sur ces expériences, dont les résultats sont prévus. Mais cette question de la capacité des bobines est souvent négligée dans la construction des appareils, et, dans certaines conditions elle peut jouer un rôle important. En téléphonie, principalement, avec des courants de fréquence assez grande, il serait utile d'en étudier les effets. Rappelons aussi que Tesla s'est fait breveter le principe d'enrouler une bobine de telle façon que sa capacité propre compense exactement sa self-induction pour un courant de fréquence donnée.

A. H.

Sur la transmission électrique de la force motrice dans les usines, par A. Bollinckx.

Nous trouvons dans un récent numéro de la *Revue industrielle* quelques réflexions sur cette question. L'auteur étant un constructeur de grande compétence nous croyons intéressant de les reproduire ici.

M. Bollinckx considère, comme beaucoup, qu'un transport de force est très utile principalement dans le cas où l'agrandissement de l'usine est tel que les transmissions existantes ne peuvent plus transmettre toute la force motrice. Il suffit alors de sectionner les transmissions, de laisser un bout directement commandé par la machine, et d'attaquer les autres par des dynamos. Il en est de même pour aller commander des outils à une certaine distance de la salle de la machine.

Mais ce que l'auteur ne peut admettre, c'est qu'il y ait un intérêt quelconque, quand on crée un nouvel établissement, comme à Herstal, d'installer une machine à vapeur dans un endroit quelconque pour avoir la satisfaction de commander des transmissions électriquement.

A Herstal, la salle des machines-outils contient plusieurs transmissions, toutes parallèles, qu'on pouvait attaquer directement par la machine à vapeur. On pouvait ensuite faire du transport pour les forces éloignées et secondaires et pour de forts outils spéciaux, comme M. Bollinckx l'a fait, et comme on l'a fait à Herstal pour aller au secours des transmissions devenues trop faibles.

En attaquant directement par la machine, on subit, il est vrai, une perte par la courroie ou les câbles, mais cette perte on la subit également quand on commande les transmissions au moyen de dynamos réceptrices. Par conséquent, ces deux pertes étant à peu près égales, on a par surcroît toute la perte entre la dynamo génératrice et la réceptrice, soit 30 p. 100 environ.

On s'exagère d'ailleurs quelquefois la perte des transmissions. L'auteur cite l'exemple de son atelier de construction, comprenant 76 outils, la forge, un ventilateur pour les feux, un marteau-pilon, une meule à émeri, quelques petites scies et les broyeurs de la fonderie, le tout commandé par une transmission.

A vide, le tout absorbe 28 chevaux. La machine, qui fait 66 tours par minute et dont le

piston a 40 cm. de diamètre sur 80 de course, absorbe à elle seule 10 chevaux à condensation.

Il reste donc 18 chevaux pour les transmissions, soit pour 10 heures de travail par jour et 300 jours de travail 695 fr., car la machine consomme seulement 7,4 kg. de vapeur par cheval-heure indiqué, et la chaudière produit 8 à 8,2 kg. de vapeur par kg. de charbon, coûtant, rendu à l'usine à Bruxelles, 13 fr. 90 la tonne.

M. Bollinckx ne pense donc pas pouvoir faire une économie en mettant des dynamos sur tous ses outils. En tenant compte de l'entretien et de l'amortissement, les 695 fr. annuels d'économie ne correspondraient qu'à un capital de 4600 fr. qui ne permettrait pas d'installer le transport électrique de la force motrice. A. H.

REVUE DES SOCIÉTÉS SAVANTES ET DES PUBLICATIONS SCIENTIFIQUES

Nouvelles photographies de l'éclair, par N. Piltschikoff (1).

« Le 26 mai dernier, à 8 h. 30 du soir, j'ai photographié dans des conditions assez favorables plusieurs éclairs pendant l'orage qui traversa Odessa de SW. à NE. J'ai l'honneur de présenter à l'Académie trois photographies des éclairs typiques, que l'on pourrait désigner sous les noms d'*éclair-bande*, *éclair-tube* et *éclair-trombe*. J'ai rencontré les deux premiers types d'éclair (bande et tube) dans tous les orages, tandis que je n'ai obtenu les éclairs-trombe qu'une seule fois, le 26 mai.

« L'éclair-bande se présente, sur la photographie, sous forme d'un ruban qui fait des plis multiples sans se tordre. La largeur réelle de la bande lumineuse, d'après l'épreuve obtenue avec un objectif *extra-rapide Dallmeyer*, n° 57383, surpasse 12,5 m. La bande sort d'un nuage, s'affaiblit et finit dans l'espace sans qu'on puisse distinguer la dernière partie de sa route.

« Pendant un autre orage à Odessa, le 13 juin dernier, une bande lumineuse avait sur la plaque une largeur de 0,75 mm ; l'éclair jaillissant à une distance supérieure à 10 km., sa largeur était donc en réalité de plus de 62 m. Une autre bande (orage à Kharkow, le 2 juillet 1891) était large au moins de 21 m.

« La seconde photographie représente un éclair-tube. La surface latérale du tube paraît être très semblable à la surface latérale des fulgurites, avec les mêmes rétrécissements, les mêmes changements de direction. Le diamètre du tube est de 15 m. environ. Dans l'orage observé à Kharkow, un éclair-tube avait une longueur de 21 m.

« Le troisième type d'éclair se présente sous une forme qui ressemble à une trombe. Cette ressemblance est-elle purement fortuite, ou tient-elle à une cause générale, une giration qui ferait monter ou descendre les masses d'air humide et raréfié ? Je n'ose pas me prononcer sur ce point si obscur et si intéressant de météorologie électrique. La question de la nature intime de l'éclair n'est pas facile à résoudre. L'opinion souvent admise que les décharges disruptives de nos sources électriques sont en tous points semblables, à part les dimensions, aux éclairs réels, est peut-être un peu hasardée. Peut-on obtenir, avec des machines électrostatiques, ou avec des courants électriques à haut potentiel et haute fréquence, les décharges en forme de bande, de tube ou de trombe? J'ai essayé l'expérience sans y réussir.

« Sur plusieurs de mes photographies, on peut voir, en même temps que les éclairs-bandes, des éclairs en lignes très fines, ce qui démontre décidément que la forme des éclairs en bandes est absolument indépendante des déplacements fortuits de l'appareil photographique. Cette forme de l'éclair doit avoir une corrélation intéressante avec les draperies des aurores boréales. »

(1) *Comptes rendus*, t. CXXI, p. 250.

Sur la théorie de la machine de Wimshurst par le P. V. Schaffers (¹).

On sait que la machine de Wimshurt fonctionne parfaitement si l'on supprime ses peignes et son excitateur, en ne conservant que deux plateaux armés, tournant en sens contraires et ses deux conducteurs diamétraux. Les charges se répartissent sur les deux plateaux comme l'indiquent les signes sur le diagramme (fig. 1); elles augmentent rapidement d'intensité et les plateaux ne tardent pas à s'auréoler et à étinceler. On en a conclu que les peignes ne faisaient que recueillir, dans les quadrants I et III les charges de mêmes signes engendrées sur les deux plateaux, et que leur présence n'intéressait en rien le fonctionnement de la machine. Après avoir passé sous les peignes, les deux plateaux devraient être à l'état neutre, jusqu'à ce qu'ils atteignent le conducteur diamétral suivant.

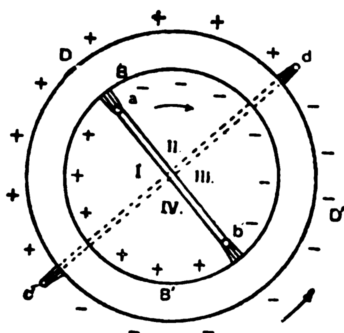


Fig. 1.

Cette théorie par trop simpliste serait parfaitement exacte en cas de symétrie absolue de tous les organes. Mais, dans la réalité, il n'en est rien. Soit par suite de l'inégalité des charges sur les deux plateaux, provenant de l'état de la surface ou de la substance de ces plateaux, soit par suite de l'action inégale des deux peignes d'une même mâchoire provenant de l'état de leurs pointes ou de leurs distances différentes aux plateaux, soit pour toute autre raison amenant une dissymétrie dans la machine, un des peignes, dans chaque mâchoire, agit plus que l'autre, les mouvements d'électricité dans la machine se faisant toujours suivant le conducteur de moindre résistance. En se basant sur ce principe, si l'on suit attentivement les réactions électriques dans la machine, on voit que ce peigne et l'excitateur remplacent alors le conducteur diamétral du plateau correspondant. Les changements de signe auront donc lieu, comme le représente le diagramme de la figure 2, pour un des plateaux, aux peignes E et H' pour l'autre au conducteur diamétral *ab*. La seconde mâchoire E et H des peignes est donc inutile et l'on serait conduit à employer des peignes droits; le conducteur diamétral *cd* du plateau devant lequel sont placés les peignes est de même inutile quant au fonctionnement normal de la machine (le raisonnement et l'expérience prouvent même que ces deux organes sont plutôt nuisibles). Cependant, on ne peut supprimer le conducteur diamétral *cd*, car on s'exposerait alors à voir la machine s'intervertir lorsque la distance explosive serait trop grande.

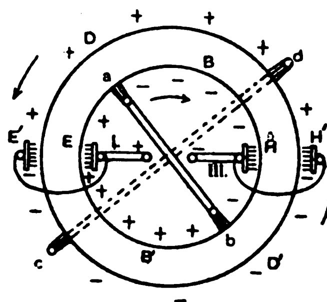


Fig. 2.

La forme rationnelle qu'il faudrait donner à la machine de Wimshurst, d'après ce qui précède, serait la suivante : deux plateaux tournant en sens inverse, un conducteur diamétral devant chaque plateau, et deux peignes droits devant un de ceux-ci; aux extrémités d'un même diamètre les meilleurs résultats seraient obtenus lorsque les conducteurs diamétraux feraient un angle de 60° entre eux et avec les peignes.

(¹) *Annales de Chimie et de Physique*, 7e série, t. V, p. 132-144. Mai 1895.

Pour confirmer ces déductions le P. Schaffers a vérifié au moyen d'une bouteille de Lane que le débit de la machine de Wimshurst est sensiblement le même, soit que l'on adopte le modèle ordinaire, soit qu'on remplace les peignes à mâchoires E, E' et H, H' par des peignes droits E' H', les deux conducteurs diamétraux étant en place, soit enfin, qu'avec des peignes droits E' H', on supprime le conducteur diamétral *cd*. D'après la règle générale posée plus haut, à savoir que les mouvements d'électricité se font dans la machine, par le circuit le moins résistant, on peut expliquer certaines anomalies de distribution observées. Par exemple, lorsque l'excitateur est ouvert, la résistance du circuit des peignes est augmentée, et le conducteur diamétral correspondant devient actif en partie ; les peignes et tous les balais situés à gauche du diamètre vertical de symétrie de la machine, prendront donc une charge positive et ceux à droite une charge négative. On peut citer encore comme exemple le cas assez fréquent où les conducteurs diamétraux étant en contact par l'axe métallique de rotation, des distributions anormales en résultent.

Considérons maintenant une machine simplifiée, c'est-à-dire ne contenant qu'une paire de peignes droits E' H', avec excitateur, devant un plateau, et un conducteur diamétral *ab* devant l'autre ; il est évident que ces deux organes jouent, pour chaque plateau, un rôle équivalent ; mais tandis que, avec les peignes et l'excitateur on obtient un résultat utile extérieur, avec le conducteur diamétral continu, on n'obtient aucun effet utile. Si donc, on coupe en deux parties ce conducteur et qu'on réunisse convenablement chacune d'elles à la branche correspondante du peigne, on doublera le débit de la machine. C'est ce que l'expérience démontre. Toutefois, sous cette forme, la machine se renverserait trop facilement ; pour éviter cet inconvénient, il suffit de munir chaque plateau d'un conducteur diamétral. La machine prend alors la forme représentée schématiquement en figure 3. Les peignes E et E d'un même côté de l'excitateur, sont éloignés de 60° entre eux et de 30° environ des conducteurs diamétraux ; ils comportent des balais et des peignes, tandis que les conducteurs diamétraux ne comportent que des peignes. Une machine de ce genre donne un débit à peu près double de celui d'une machine ordinaire (¹).

Si l'on transforme de la même façon une machine de Wimshurst sans secteurs, qui donne déjà un débit beaucoup plus considérable que la machine à secteurs, le rôle de ceux-ci étant d'assurer l'auto-excitation, mais diminuant toujours le débit (²), on obtient des résultats vraiment étonnants.

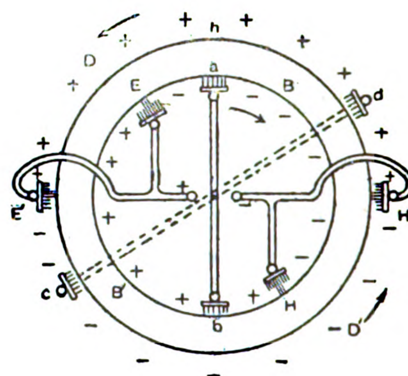


Fig. 3.

Nous ferons remarquer que cette modification de la machine de Wimshurst se rapproche beaucoup de celle que M. Wimshurst lui-même avait proposée et qui consistait à avancer les peignes de chaque mâchoire près du conducteur diamétral suivant, dans le sens de la rotation des plateaux. La grande machine de 7 pieds de diamètre qui a été construite en 1884 et qui est exposée au musée de South Kensington, à Londres, porte ses balais décalés par rapport au diamètre horizontal ; la machine de laboratoire de M. Wimshurst est construite sur le même modèle (³). Les travaux

(¹) Voir l'*Eclairage Électrique* du 10 novembre 1894, t. I, p. 426.

(²) Voir *Les machines Électriques à influence*, par J. GRAY. Paris, Gauthier-Villars et fils, 1892, p. 210.

(³) *Loc. cit.*, p. 138 et 141.

du P. Schaffers qui expliquent la raison de ce fait d'expérience et qui permettent de donner à la machine sa forme la plus rationnelle, doivent donc être comptés parmi les plus intéressants qui aient été publiés à ce sujet.

G. P.

Sur l'histoire et la théorie des machines à influence à double rotation, par W. Holtz. [1].

Le développement considérable que ces machines ont pris dans ces dernières années, sous le nom de machines de Wimshurst, et les travaux dont elles ont été l'objet, ont conduit M. Holtz à rappeler qu'il les avait proposées longtemps avant les nouveaux inventeurs, et à indiquer les principes généraux qui l'avaient guidé dans ses recherches.

Considérons deux bandes sans fin, en matière

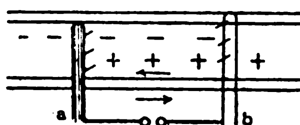


Fig. 1.

isolante, passant l'une devant l'autre en sens contraire, et supposons que devant chacune d'elles, soit placé un peigne. Si les deux peignes sont réunis par un conducteur *ab* (fig. 1) et qu'un corps électrisé soit placé en face de l'un d'eux, par le jeu connu de l'influence et des pointes, chaque bande s'électrisera, l'une positivement, l'autre négativement. Par suite de la translation des bandes, les charges ainsi produites passent devant les peignes et continuent l'action commencée par le corps chargé, à la condition que les charges induites soient supérieures à celles qui existaient primitivement Comme la surface influençante est très large, par rapport à la surface influencée, et que les deux bandes sont très rapprochées l'une de l'autre, cette condition est généralement réalisée. On peut dès lors introduire un espace d'air dans le conducteur *ab*, et il s'y produira des étincelles.

Dans la pratique, les bandes sans fin sont remplacées par des disques; le principe reste le même, et peut être réalisé sous différentes formes. La figure 2 montre la construction la plus simple : *a* et *b* sont les peignes réunis par l'excitateur et *c* un peigne à mâchoires qui ra-

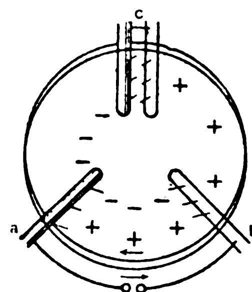


Fig. 2.

mène les disques à l'état neutre. Les signes indiquent la distribution des charges; les signes extérieurs se rapportant au disque antérieur.

Ce modèle ne donne qu'un faible débit et une faible tension car l'excitateur ne peut être trop écarté sans arrêter l'action de la machine [1] Ce dernier inconvénient peut-être écarté en disposant en *c*, deux peignes doubles écartés l'un de l'autre de 90°, au lieu d'un seul, et en intercalant l'excitateur entre eux,

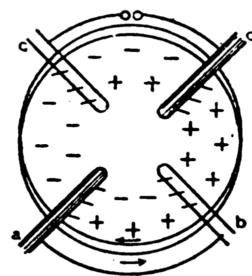


Fig. 3.

les deux peignes *a* et *b* restant constamment réunis; le débit reste évidemment le même. Il serait doublé, au contraire, si l'on adoptait la disposition de la figure 3, dans laquelle quatre peignes simples sont placés alternativement devant l'un et l'autre disque; deux des

---

(1) *Wied. Ann.*, n° 1, 1895.

(1) Holtz. — *Pogg. Ann.* 1867, p. 134.

peignes, tels que *a* et *b* sont réunis par un conducteur continu, et l'excitateur est placé entre les deux autres *c* et *d*. Le peigne *a*, par exemple, décharge le disque antérieur lorsque celui-ci passe devant ses pointes ; mais pendant ce temps, il est soumis à l'influence prépondérante du disque postérieur, en sorte que le premier au lieu de quitter le peigne à l'état neutre, prend une charge de signe contraire à celle qu'il avait précédemment; la même action se répète pour tous les peignes; le débit est donc doublé; en outre, on voit que les branches de l'excitateur peuvent être beaucoup plus écartées sans que la machine s'éteigne, bien qu'à partir d'une certaine limite, ce phénomène se produise. Dans ce dernier type, on n'utilise que la moitié de la machine. On obtiendrait donc un débit quatre fois plus considérable qu'avec la disposition de la figure 2, si l'on supprimait le conducteur *a b* et qu'on joigne *a* à *c* et *b* à *d*; mais l'extinction se produirait alors très facilement.

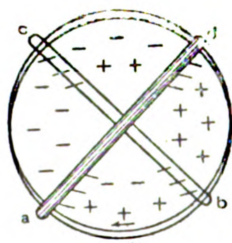


Fig. 4.

Ces différents types de machines ont été publiés en 1867 (¹). Ils ont conduit directement à l'invention du modèle suivant, qui n'est autre que la machine dite de Wimshurst, et dont la description a été donnée en 1869 (²).

Supposons en effet que, dans le modèle de la figure 3, les quatre peignes soient conservés et que les conducteurs extérieurs soient supprimés; supposons, en outre, que les peignes *c* et *b* soient réunis métalliquement, de même que les deux peignes *a* et *d*; on obtiendra (fig. 4) deux conducteurs diamétraux. La machine ne donnera aucun travail extérieur, mais, si l'on place les peignes *e* et *f* (fig. 5) entre les peignes *c* et *a* et les peignes *c* et *d*, on obtiendra la machine bien connue de Wimhurst. On voit que sous sa première forme, imaginée par Holtz, cette machine contenait toutes les modifications qu'on a proposées depuis, pour perfectionner la machine de Wimshurst : disques de verre sans secteurs, peignes droits au lieu de peignes à mâchoires employés depuis.

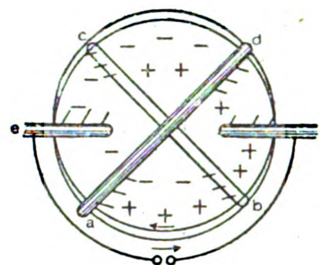


Fig. 5.

Sous cette forme la machine de Wimshurst, qui dérive immédiatement du modèle de la figure 3, donne un débit égal à celui de cette dernière machine; mais elle présente l'avantage de ne pas s'éteindre ou s'intervertir. Musœus a proposé de remplacer les peignes droits *e f*, par des peignes à mâchoires, les deux mâchoires de chaque peigne étant décalées par rapport au sens de la rotation ; ce qui revient à doter la forme modifiée de la figure 3, de conducteurs diamétraux. C'est la modification que le P. Schaffers a proposée tout dernièrement.

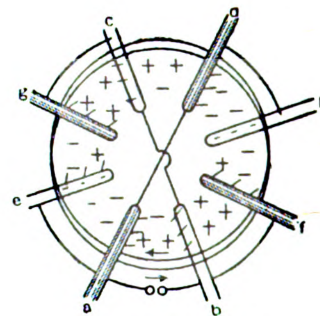


Fig. 6.

(¹) Holtz. — *Pogg. Ann.* 1867, p. 134.
(²) Holtz. — *Pogg. Ann.* 1869, p. 171.

Enfin, M. Holtz signale un autre modèle, qu'il a proposé en 1883 (1), et que nous représentons en figure 6. On voit que les conducteurs diamétraux et les peignes y sont reliés entre eux de façon à obtenir un débit huit fois plus grand que celui du premier type (fig. 2) c'est-à-dire quatre fois supérieur à celui de la machine Wimshurst ordinaire sans secteurs.

M. Holtz réclame encore comme son invention l'emploi des secteurs métalliques sur les plateaux. Il les a proposés en 1881 (2), tandis que M. Wimshurst n'a publié sa machine qu'en 1883 (3), mais il ne les avait pas généralement employés, car s'ils permettent l'autoexcitation, ils diminuent le débit, facilitent les chances d'inversion, et diminuent la transparence de la machine, si précieuse pour étudier la théorie de la machine par ses effets lumineux.

G. P.

Observations sur la théorie et l'histoire des machines à influence à rotations opposées par James Wimshurst (4).

L'article de M. Holtz que nous venons de reproduire ne pouvait manquer d'attirer une réponse de M. Wimshurst, qui se défend d'avoir emprunté l'idée première de sa machine à Holtz, ce que tout le monde croira sans peine. Les travaux de Holtz ont été publiés à une époque où les machines à influence ne sortaient pas du domaine du laboratoire et où la littérature scientifique n'avait pas pris encore le développement qu'elle a reçu aujourd'hui. Les mémoires du savant allemand ont donc passé inaperçus. Un des types de machines à rotation opposées était bien connu; c'était le modèle modifié de la figure 3 du mémoire ci-dessus. Toutes les autres modifications étaient inconnues. Aussi lorsque M. Wimshurst publia la description de son appareil, aucune réclamation de priorité ne s'éleva-t-elle. De même, lorsque son invention reçut les perfectionnements qui la ramenaient vers le modèle primitif de Holtz.

M. Wimshurst explique par quelles hypothèses théoriques, il fut amené à construire sa machine; nous ne le suivrons pas sur ce terrain; nous nous contenterons d'enregistrer sa déclaration qu'il ne connaissait même pas la machine de Holtz du second genre, lorsqu'il inventa la sienne, et que son but n'était pas de perfectionner un appareil existant, mais de construire un appareil utile et sur lequel on pût compter en tout temps.

(1) Holtz. — *Uppenborn's Centralblatt*, 1883, p. 684.
(2) Holtz. — Uppenborn *Zeitschrift für angewandte Elektrizitat*, p. 199.
(3) Wimshurst. — *Engineering*, t. XXXV, p. 4, 1883.
(4) *The Electrician*, 19 juillet 1895, p. 383.

Lignes de force, par W. G. Rhodes (1)

L'auteur donne une méthode pour établir l'équation générale des lignes de force d'un champ magnétique dû à deux pôles dans l'air.

Pour deux pôles magnétiques égaux, on sait qu'on a

$$\cos\theta \pm \cos\varphi = \text{constante},$$

le signe $+$ correspondant au cas de deux pôles contraires, le signe $-$ à celui de pôles

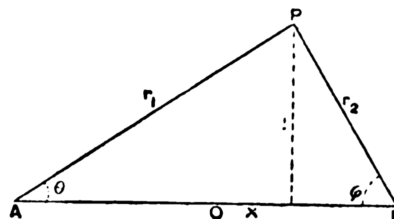


Fig. 1.

de même nom; et θ désignant l'angle que fait la ligne joignant les pôles avec la droite joignant un point quelconque d'une ligne de force à un des pôles, et φ l'angle correspondant pour l'autre pôle. Le champ des lignes de force s'obtient en donnant des valeurs différentes à la constante.

Voici maintenant comment s'établit l'équation d'une ligne de force due à deux pôles quelconques, de grandeur et de signe arbitraires.

Soit A (fig. 1) un pôle magnétique d'inten-

(1) *The Electrician*, 9 août 1895.

sité m_1 et B un autre pôle d'intensité m_2. Prenons pour origine le point O au milieu de AB, et comme axes de coordonnées cette ligne AB et une normale à cette ligne élevée en O,

P est un point quelconque dont les ordonnées sont x et y.

$$AP = r_1, \qquad BP = r_2, \qquad AB = 2a.$$

L'angle PAB $= \theta$ et l'angle PBA $= \varphi$.

On a

$$\left.\begin{aligned} r_1^2 &= (a+x)^2 + y^2 \\ r_2^2 &= (a-x)^2 + y^2 \end{aligned}\right\} \qquad (1)$$

Si le potentiel en P dû à m_1 et m_2 est V, on peut écrire

$$\frac{m_1}{r_1} + \frac{m_2}{r_2} = \text{V}. \qquad (2)$$

En passant de P au point suivant. sur la courbe d'intersection de la surface équipotentielle et du plan du papier, il vient encore

$$\frac{m_1}{r_1^2}\,dr_1 + \frac{m^2}{r_2^2}\,dr_2 = 0. \qquad (3)$$

On tire de (1)

$$\left.\begin{aligned} r_1\,dr_1 &= (a+x)\,dx + y\,dy \\ r_2\,dr_2 &= (a-x)\,dx + y\,dy \end{aligned}\right\}$$

Par substitution dans (3) il vient

$$y\left(\frac{m_1}{r_1^3} + \frac{m_2}{r_2^3}\right)\frac{dy}{dx} + \frac{m_1}{r_1^3}(a+x) - \frac{m_2}{r_2^3}(a-x) = 0. \qquad (4)$$

C'est l'équation différentielle des traces des surfaces équipotentielles sur le plan du papier.

Puisque les lignes de force coupent partout la surface équipotentielle normalement, l'équation différentielle du système de lignes de force est

$$\left[\frac{m_1}{r_1^3}(a+x) - \frac{m_2}{r_2^3}(a-x)\right]\frac{dy}{dx} = \left(\frac{m_1}{r_1^3} + \frac{m_2}{r_2^3}\right)y. \qquad (5)$$

en substituant

$$-\frac{1}{\frac{dy}{dx}} \text{ à } \frac{dy}{dx}$$

dans (4).

Pour intégrer (5) remarquons que

$$a + x = y \operatorname{cotg}\theta, \qquad a - x = y \operatorname{cotg}\varphi,$$

et

$$r_1 = y \operatorname{cosec}\theta, \qquad r_2 = y \operatorname{cosec}\varphi,$$

de sorte que

$$\frac{dy}{dx} = -\frac{\operatorname{cosec}^2\theta\,d\theta + \operatorname{cosec}^2\varphi\,d\varphi}{\operatorname{cosec}^2\theta \operatorname{cotg}\varphi\,d\theta - \operatorname{cosec}^2\varphi \operatorname{cotg}\theta\,d\varphi}.$$

En substituant ces valeurs en (5) nous obtenons, après une petite transformation,

$$m_1 \sin\theta\,d\theta - m_2 \sin\varphi\,d\varphi = 0;$$

et en intégrant

$$m_1 \cos\theta - m_2 \cos\varphi = \text{constante},$$

ou

$$\cos\theta - k\cos\varphi = \text{constante}. \qquad (6)$$

avec $k = \frac{m_2}{m_1}$.

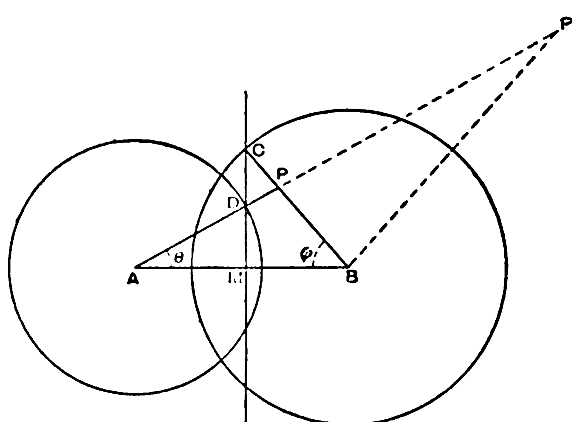


Fig. 2.

L'équation cartésienne correspondante est

$$\frac{a+x}{\sqrt{(x+a)^2+y^2}} - k\frac{a-x}{\sqrt{(a-x)^2+y^2}} = \text{constante}. \qquad (7)$$

En donnant une valeur convenable à la constante, on peut obtenir l'équation d'une ligne de force quelconque.

Deux cas se présentent selon que k est négatif ou positif; c'est-à-dire selon que les deux pôles sont de noms contraires ou de même nom.

Pour *k négatif*, l'équation (6) devient

$$\cos\theta + k\cos\varphi = \text{constante},$$

et nous pouvons obtenir les points successifs des lignes de force de la manière suivante :

A et B (fig. 2) indiquent les emplacements respectifs de m_1 et m_2, et AB $= 2\,a$.

Décrivons autour de A comme centre un cercle de rayon quelconque d, et prenons B pour centre d'un autre cercle de rayon kd. CD est une perpendiculaire à AB et coupe les cercles en C et en D. BC et AD, ou leurs prolongements, se coupent en P.

Or,

$$\cos \theta + k \cos \varphi = \frac{AM}{AD} - k \frac{MB}{BC} = \frac{AM + MB}{d}$$
$$= \frac{2a}{d} = \text{constante}.$$

Donc, quand M se meut le long de la ligne AB, le point P décrit une ligne de force.

Pour *k positif*, l'application de l'équation (6) nécessite la construction additionnelle suivante :

Prolongeons AP et traçons BP′ de telle façon que l'angle ABP′ $= \pi -$ ABP. Alors

$$\cos P'AB - k \cos P'BA = \cos PAB + k \cos PBA = \frac{2a}{d}.$$

P′ est alors un point d'une ligne de force qu'il décrit quand M décrit la ligne AB. En prenant différentes valeurs de d on peut tracer les lignes du champ entier. Cette construction additionnelle a été suggérée à l'auteur par M. G. C. Turner.

Dans le cas particulier où les deux pôles sont égaux, on a $k = \pm 1$, et la même construction peut être employée, les rayons des cercles étant alors égaux.

A. H.

BIBLIOGRAPHIE

The Telephone Systems of the Continent of Europe, par A. R. Bennett. — *Longmans et C°.*, éditeurs, Londres, 436 pages, 15 sh.

La plume autorisée de M. Bennett, directeur de la New Telephone Co., offre au public un rapport général sur l'état actuel de la téléphonie chez les différentes nations du Continent.

En Angleterre, la téléphonie est à la veille d'une transformation, sinon des systèmes, au moins de l'administration. Les plaidoyers en faveur du monopole de fait de la National Telephone Company, et les discussions sur l'éventualité de la reprise des réseaux par le Post-Office, nous ont, dans ces dernières années, renseigné contradictoirement sur les conditions du service téléphonique britannique. Mais ce qu'il est utile de faire ressortir, c'est la cherté de ce service. L'abonnement annuel de 500 francs à Londres, n'est dépassé que par le tarif de 600 francs des deux capitales russes, et n'est égalé par aucun autre tarif continental.

Le public anglais est donc bien fondé de se plaindre de cet état de choses, auquel, toutefois, le gouvernement ne paraît aucunement décidé à porter remède, puisque, en mars dernier, le Postmaster General déclarait en pleine Chambres des Communes, que « le téléphone ne peut être, et ne sera jamais, une commodité dont puisse jouir la grande masse du public », affirmation à placer au même rang que les prédictions ayant accueilli l'entrée en scène des chemins de fer et du télégraphe.

L'auteur est, avec tous ceux qui voient dans la téléphonie un moyen de communication à organiser comme le service public le moins restreint, d'une opinion tout opposée. Pour être à même d'apporter dans la discussion les arguments les plus solides, il s'est livré à une enquête personnelle dans les différents pays. Plaidant pour la réduction des taxes, il montre par divers exemples que celle-ci entraîne en général une extension des réseaux et une augmentation des recettes, phénomène communément constaté pour tous les services de transport ou de communication dans les grandes agglomérations. Les chiffres qu'il cite font constater que dans plusieurs entreprises téléphoniques du continent, un service bien organisé s'allie avec des taxes modérées et la réalisation de bénéfices rémunérateurs et stables.

Mais la discussion des résultats financiers ne va pas sans indications plus ou moins circonstanciées sur la technique des systèmes; aussi l'auteur nous fait-il connaître les particularités les plus remarquables de chaque mode de réalisation pratique, et la diversité

des moyens techniques mis en œuvre n'est pas le côté le moins curieux dont cette étude donne un aperçu.

Les renseignements que l'auteur a recueillis ont trait, pour chaque pays, aux points de vue suivants : Historique; divers services mis à la disposition du public; tarifs; droits d'empiétement sur les propriétés privées pour la pose des lignes; installation des bureaux; installations extérieures; heures de service; salaires des ouvriers et des téléphonistes; statistiques.

Ces dernières sont nombreuses et précises; nous avons réuni, en feuilletant le livre, les données suivantes qui peuvent intéresser nos lecteurs :

VILLES	ABONNÉS au téléphone 0/0 habitants.
Stockholm	4,6
Luxembourg	3,4
Genève	3,4
Helsingfors	3,3
Christiania	2,5
Hambourg	2,4
Berlin	1,5
Rome	1
Vienne	0,8
Paris	0,5
Bruxelles	0,5
Amsterdam	0,4
Saint-Pétersbourg	0,17
Londres	0,15

Comme on peut s'y attendre, l'importance des taxes croît dans l'ordre inverse. A Stockholm, le prix de l'abonnement est de 100 à 130 francs par an et donne droit aux communications avec les villes à 50 km. à la ronde; aussi le vingtième de la population entière est abonné au téléphone; tandis qu'à Londres, où l'on paye jusqu'à 500 francs par an, on trouve un abonné sur 600 à 700 habitants.

Au Luxembourg, l'abonnement de 80 francs par an donne droit aux communications interurbaines avec tous les réseaux du pays; résultat : la capitale compte 3,4 abonnés pour 100 habitants, et dans le pays entier 6 habitants sur 1 000 ont leur poste téléphonique; c'est-à-dire que le public téléphonique des villes et campagnes y est plus dense qu'à Paris et en proportion dix fois plus nombreux que dans la France entière.

L'auteur ne se prive naturellement pas de critiquer les organisations en retard; les observations qu'il présente pour l'administration française nous semblent en grande partie justifiées. Nous nous garderons bien de les reproduire ici, voulant laisser au lecteur le soin d'en dégager une conclusion.

Au cours de sa tournée sur le Continent, l'auteur a également recueilli les dessins des appareils usuels et les croquis des montages. Ces dessins, clairs et soignés, sont accompagnés de photogravures donnant des vues de l'intérieur des bureaux et des diverses constructions extérieures telles que supports de lignes, tourelles, etc., le tout édité avec luxe.

Au résumé, le livre de M. Bennett nous semble une œuvre utile et recommandable comme étant le seul ouvrage donnant sous une forme condensée et facile à consulter les éléments précis d'une comparaison entre les organisations téléphoniques des Etats continentaux.

A. Hess.

CHRONIQUE

CHRONIQUE DES COUPS DE FOUDRE

Il n'est personne que n'intéressent les multiples manifestations de l'électricité atmosphérique, et nous ne croyons pas occuper inutilement quelques colonnes de cette Revue, en enregistrant ici les cas les plus curieux d'entre ceux qui parviennent à notre connaissance. L'année présente se signale par des orages nombreux, aussi la foudre a-t-elle déjà occasionné, cette année, maints accidents.

Un de ses effets les plus remarquables est certainement le phénomène de la reproduction d'un objet avoisinant sur le sujet atteint par la foudre. Le cas s'est produit le mois dernier à Méobecq (Indre). Plusieurs vaches qui, d'instinct s'étaient mises à l'abri sous un arbre, ont été frappées par la foudre et tuées sur le coup. On a constaté que l'une des vaches portait, sur une des parties blanches de son pelage, l'image profilée d'une personne présente à l'accident.

Plus net encore est le cas de trois enfants dans

un village anglais qui, pendant un orage, s'étaient réfugiés sous le feuillage d'un arbre. La foudre éclata, tomba sur l'arbre et décrivit alentour une série de cercles. Or, les enfants n'avaient eu aucun mal, mais l'un d'eux présentait sur son corps l'image parfaite de l'arbre qui l'abritait; on distinguait les moindres brindilles et les feuilles des branches. L'image persista plusieurs heures.

Non moins curieux sont les effets mécaniques que produisent très fréquemment ces formidables décharges électriques.

Pendant l'orage qui a sévi sur Liége le 10 juin, la foudre, après être tombée sur un mur dont les matériaux ont été lancés dans toutes les directions a enlevé une partie de ce mur pesant plus de 500 kg. et est allée la déposer sur un mur voisin, où elle a été retouvée à la grande stupéfaction des témoins.

Le 19 juin, un des phares de Sutton Bridge (Angleterre) a été presque entièrement démoli par un coup de foudre qui a ouvert au sommet du phare un trou de près de 2 mètres de large.

Dans la commune de Mutfort (Luxembourg), la foudre a fait écrouler une maison, sans heureusement causer d'accidents de personnes.

A Cheminas (Ardèche), un homme, foudroyé, en pleins champs, a été trouvé complètement dépouillé de ses vêtements.

On peut voir à Aincourt, près de Mantes, les reste s d'un chêne, qui avait plus d'un mètre de diamètre, et que la foudre a fendu en quatre sur toute sa hauteur, jusqu'à ses plus profondes racines, sous lesquelles elle a creusé un trou d'un mètre de large. La partie supérieure de l'arbre a été projetée à une douzaine de mètres. De nombreuses parties de bois fendues ont été lancées à travers la futée à 30 et 40 m. On a retrouvé à une distance de 20 m. un morceau piqué en terre n'ayant pas moins de 4,50 m. de long sur 0,40 cm. de circonférence. La partie du tronc qui est restée verticale est déchiquetée en d'innombrables lanières longitudinales.

Quelquefois, l'intérêt de l'observateur est suscité par le parcours capricieux de la décharge.

Un correspondant de *La Nature* cite le cas suivant qui s'est produit à Moulins. La foudre est tombée sur une maison petite, basse, voisine d'un bâtiment plus élevé qui est resté indemne.

Les habitants de cette maison, l'homme, la femme et les quatre enfants, en furent heureusement quittes pour la peur. La décharge s'est attaquée sans doute à la cheminée extérieure, dont les briques ont été disjointes et projetées en partie. Sur le toit, bris de tuiles le long d'un chevron, et, à l'intérieur, dans le grenier, un râteau en fer, a eu son manche de bois brisé, éclaté. Au rez-de-chaussée : briques disjointes et arrachées à l'endroit où le tuyau du poêle pénètre dans le mur de cheminée. Un douzaine d'assiettes cassées dans un placard à gauche du foyer. Pendant l'orage, la femme qui s'était levée, se tenait là et « elle a eu, a-t-elle dit, les jambes échaudées par un air brûlant qui s'échappa du placard. La pièce fut alors remplie d'une fumée épaisse, infecte, d'un vrai poison, » ajoutait-elle. Sept petits carreaux furent brisés à une même fenêtre et la fenêtre voisine conserva ses huits carreaux intacts. On a enfin relevé un trou d'une dizaine de centimètres dans l'axe de la voûte de la cave, au-dessous du poêle du rez-de-chaussée. Du reste, aucune trace du passage de la foudre sur les parties ou objets métalliques de l'habitation.

A Pommereuil, dans l'Eure, la foudre, après avoir frappé la cheminée a suivi le faîtier de zinc d'une maison, en le soulevant jusqu'à la pointe. Là, elle est descendue dans l'aiguille en bois blanc, projetant des éclats de bois de toutes grosseurs jusqu'à l'autre extrémité du grenier, qui mesure plus de 10 m. de longueur. Certaines parties près des assemblages sont carbonisées.

Ensuite, elle est passée dans la maçonnerie de la pointe, pour sortir dans la chambre de ce même côté, à environ 2 m. de hauteur, par un trou de la grosseur du petit doigt. Sur la muraille, elle a tracé un sillon de 60 cm. sous une robe pendue au mur, roussissant le corsage et la robe, puis déchiquetant celle-ci en y faisant une déchirure plus grande que la main. Puis elle a décollé près d'un m^2. d'enduit, en pulvérisant le plâtre remplissant la chambre de poussière et de fumée d'une odeur d'ozone.

Une chaise qui portait des vêtements près de la partie pulvérisée a été renversée et les vêtements transportés dans la cuisine contiguë, près de la cheminée, où toute trace de la foudre a disparu.

Une femme qui se trouvait dans une pièce à l'autre bout de la maison, a ressenti une forte commotion.

A Obernai (Alsace), l'étincelle électrique tombée sur le toit d'une maison en fracassant les tuiles, a

longé le mur extérieur de la maison et est entrée dans une pièce, en cassant les carreaux d'une fenêtre. Là elle a enlevé le papier peint et la dorure du cadre d'un tableau. Puis, sortant par une fenêtre ouverte, elle a mis en pièces la rampe d'un escalier et est allée se perdre dans l'étable.

A Forest-lez-Bruxelles, le mois dernier, pendant une forte ondée, un éclair fend l'air, entre dans une laiterie, où il renverse le propriétaire et sa femme, sort en brisant une glace de la porte et projette à quelques mètres un cheval attelé, arrêté devant la maison, puis il tombe dans une maison voisine, où, après avoir traversé les gouttières, il atteint un chien qu'il tue net. Enfin, dans une autre maison, il carbonise complètement plusieurs poules. Les personnes atteintes en ont été quittes pour une forte secousse.

C'est d'ailleurs un fait assez fréquent et bien heureux que les personnes directement atteintes n'éprouvent d'autre mal, qu'une paralysie ou une hémorragie passagère. On nous signale, par exemple, d'Ouzouer sur-Loire, qu'un jeune homme qui se trouvait à labourer dans la plaine fut surpris par un violent orage, et s'étant imprudemment mis à l'abri sous un peuplier élevé, le dos appuyé contre le tronc de l'arbre, fut frappé par la foudre. Il tomba à la renverse et resta longtemps sans connaissance, atteint d'une forte hémorragie. On lui porta secours, et les suites de l'accident n'ont pas été graves. A cette occasion on observa un effet singulier. La montre du jeune homme qui se trouvait dans une poche du gilet s'était arrêtée net, mais sans brisure du mécanisme, puisqu'elle put remarcher postérieurement. Par contre, le verre tourné du côté du corps fut broyé en poudre impalpable, et la peau du flanc, en bas du cœur, au point précisément touché par la montre, présente une large plaque de brûlure superficielle, brûlure qui se prolonge en un ruban presque régulier le long de la jambe gauche jusqu'en bas du pied.

Non moins heureux a été, dans le Pas-de-Calais un garçon de ferme qui conduisait aux champs un chariot attelé de quatre chevaux. Il s'occupait à rajuster le harnachement de l'une des bêtes, lorsque tout à coup, une formidable explosion se produisit. Les quatre chevaux ont été tués net. Mais le garçon n'a pas été atteint gravement. Sur le coup, il a eu une forte hémorragie de poitrine et il a ressenti, pendant quelques heures, une brûlure aux jambes.

L'abatage des arbres par l'électricité. — L'emploi de l'électricité pour l'abatage des arbres tend à se généraliser en Galicie.

On se sert pour cela d'une tarière animée à la fois d'un mouvement de va-et-vient et d'un mouvement de rotation. Cette tarière, actionnée par un moteur électrique, est montée sur un chariot qui peut tourner autour d'un axe vertical et qu'on peut fixer à volonté au tronc de l'arbre. La mèche de l'outil, décrivant un arc de cercle, opère comme une machine à mortaiser le bois et fait une saignée dans le tronc.

On avance progressivement l'outil jusqu'à ce que la saignée soit suffisamment profonde pour atteindre la moitié de l'épaisseur du tronc.

Au moyen de cales introduites dans la fente, on l'empêche de se refermer, et on opère de la même façon de l'autre côté du tronc.

On termine l'opération à la hache ou avec une scie.

Cette façon de procéder permet de faire le travail très rapidement et de réaliser une grande économie de main-d'œuvre.

Tramway électrique à Leipzig. — La Compagnie Thomson-Houston commence en ce moment les travaux du réseau électrique de la ville de Leipzig, cette installation d'une importance exceptionnelle doit mettre en mouvement environ 200 voitures.

Les applications de la force motrice électrique à Berlin. — Les ateliers d'électricité de Berlin communiquent aux journaux la note suivante, concernant le développement qu'a pris l'emploi des petits moteurs électriques sur son réseau.

Le premier moteur électrique a été installé en 1890, mais la petite industrie a si rapidement reconnu les avantages de cette force motrice qu'au 30 juin dernier, elle employait 663 électromoteurs représentant une puissance totale de 2 365 chevaux, et plus de 200 chevaux vont encore être installés. Ces moteurs se répartissent entre les diverses industries comme suit :

	Nombre de moteurs.	Puissance en chevaux.
Presses d'imprimerie	146	546
Ascenseurs	139	834
Ventilateurs	135	180
Travail des métaux	55	196
Boucherie	25	92
Polissage	21	100

	Nombre de moteurs.	Puissance en chevaux.
Travail du bois	17	70
Travail du papier	14	41
Machines à couper le drap	10	9
Galvanoplastie	6	7
Fers de chapeliers	6	15
Machines à coudre	6	2
Machines à bobiner	5	5
Travail du cuir	4	25
Lessiveuses	3	11
Divers	70	229

Ces moteurs ont consommé en une année 1 050 000 kilowatts-heures. Récemment, on a commencé à faire des installations amovibles pour les chantiers de construction, qui emploient les moteurs électriques pour actionner des treuils, des grues, des pompes, etc., et il est à prévoir que ces installations volantes deviendront d'un emploi courant dans la construction des bâtiments.

Le téléphone en Turquie avait rencontré jusqu'à présent l'opposition la plus acharnée du Sultan. Si les bruits qui nous reviennent de Constantinople sont exacts, le Grand Turc consentirait à l'établissement d'une ligne téléphonique entre Stamboul et Sofia.

Forces hydrauliques non utilisées. — La Revue *l'Electrochimie* signale un certain nombre de chutes d'eau, qui pourraient être utilisées pour la production d'énergie électrique.

A Villelongue, localité située à 2 kilomètres de la gare de Pierrefitte-Nestalas (Hautes-Pyrénées), on pourrait établir une usine de 4 000 chevaux. On ferait une dérivation au ruisseau d'Isaby, à 3 kilomètres en amont de la localité, et le canal à flanc de coteau et à ciel ouvert amènerait l'eau jusqu'à la conduite forcée, au-dessus de Villelongue.

La conduite aurait environ 700 mètres de longueur : la hauteur de la chute serait de 500 mètres avec un débit minimum de 600 litres par seconde et un débit maximum de 800, ce qui assurerait une puissance utile de 3 000 à 4 000 chevaux.

Il n'y aurait aucune servitude qui viendrait diminuer la quantité d'eau disponible. On pourrait transporter une partie de la puissance aux villes environnantes, Pau, Tarbes, etc., ou l'utiliser sur place en l'appliquant aux industries nouvelles d'électro-métallurgie.

A 6 kilomètres de la gare de Laruns (Basses-Pyrénées) se trouve la chute formée par le gave d'Ossau, à mi-chemin entre Gabas et Laruns.

Canal de 5 à 6 kilomètres, conduite d'environ 500 mètres, hauteur de charge 350, eau débitée au minimum 1 500 litres par seconde, puissance 5 000 à 6 000 chevaux. Prix de location, canaux, conduites et turbines installées, 200 000 francs par an. Dans ce prix seraient compris tous les terrains nécessaires pour l'installation des usines.

La chute du Conplan, à 14 kilomètres de la gare d'Arreau (Hautes-Pyrénées), pourrait être utilisée par une usine qui serait installée près de Tramesaygues. Canal de 6 à 7 kilomètres, conduite d'environ 1 200 mètres, hauteur de charge 800 mètres. Débit minimum 1 500 litres par seconde, puissance 12 000 chevaux.

La téléphonie interurbaine en Angleterre. — Au moment de la reprise par le gouvernement anglais des lignes téléphoniques interurbaines (1892), il n'y avait pas à proprement parler de réseau interurbain, seules les villes importantes étaient reliées entre elles. Le Post-Office, par l'affectation d'un crédit de 25 millions de francs fut mis à même de compléter cette organisation. Ce réseau comprend 16 000 kilomètres de lignes, dont 80 p. 100 sont dès à présent terminées ; les lignes non encore prètes sont celles de Londres-Liverpool, Londres-Salisbury, Londres-Birmingham et Bristol-Salisbury-Portsmouth.

Les conducteurs sont en cuivre ; 4 000 km. environ pèsent 225 kg, au kilomètre, 8 000 km. pèsent 168 kg. et les 4 000 km. restants, 112 kg. par kilomètre ; ces lignes ont 6 mm., 4,8 mm. et 4,2 mm. de diamètre. Le nombre des doubles fils sur les différentes routes varie de 1 à 8. La plus longue ligne, obtenue en raccordant différents tronçons, a été, dans les essais effectués il y a quelques mois, de 2 045 km ; la transmission a été trouvée parfaite.

Le centre du nouveau réseau interurbain est formé par Leeds, d'où cinq lignes doubles vont à Sheffield-Nottingham-Londres, 2 à Sheffield-Birmingham, 2 à Newcastle, 3 à Carlisle, 2 à Manchester et 1 à Hull.

Aux 16 000 km. de lignes construites par l'État s'ajoutent les 29 000 km. établis par les Compagnies, de sorte que la téléphonie interurbaine dispose en Angleterre de 45 000 km de lignes.

Les appareils employés sont le téléphone Bell bipolaire et le microphone Deckert, modification

du Hunnings, auquel le Post-Office a accordé la préférence.

Les taxes pour une conversation de trois minutes sont fixées ainsi :

Pour une distance inférieure à 20 km.........	30 centimes
» » comprise entre 20 et 40 km.	60 »
Pour chaque 40 km en plus..................	60 »

Ces taxes sont assez élevées en comparaison de celles des autres pays.

Câble télégraphique sud-américain. — Suivant l'*Electrical Review*, de Londres, la maison Siemens Bros. a reçu la commande d'un câble sous-marin de 2 250 km. de longueur à poser dans le fleuve des Amazones. Ce câble, qui doit réunir au monde extérieur les riches contrées de ce bassin. sera posé au compte de l'Amazon Telegraph Company, nouvellement formée au capital de 6 250 000 francs. Cette Compagnie a obtenu du gouvernement brésilien le droit exclusif pendant trente ans de l'exploitation de câbles télégraphiques dans le bassin des Amazones, et elle recevra pendant vingt ans une subvention gouvernementale de 440 000 francs. Au bout de dix ans, le gouvernement pourra acquérir le réseau, et au bout de trente ans, il lui reviendra de droit. La maison Siemens, de Londres, a entrepris la fabrication et la pose du câble, ainsi que l'aménagement complet des stations, pour le prix de 5 300 000 francs ; le service doit être commencé au plus tard le 1er mars 1896.

Nouvelle ligne de tramways électriques à Berlin. — Le Conseil municipal de Berlin après avoir étudié tous les moyens de transports urbains de voyageurs a accordé une concession pour l'installation d'un tramway électrique à fil aérien système Thomson-Houston. La Compagnie Thomson-Houston va commencer de suite les travaux de ce tramway qui traversera un des quartiers les plus élégants et les plus populeux de la ville.

La Compagnie des tramways de Berlin désireuse d'obtenir des modèles aussi artistiques que possible a ouvert un concours pour l'ornementation des poteaux destinés à supporter le fil de trôlet.

Dérangements des lignes télégraphiques. — D'après une statistique donnée par le *Journal télégraphique*, le nombre des dérangements des lignes françaises (continent et Corse) s'est élevé, en 1893, à 25 075, dont 10 590 pour les lignes établies le long des voies ferrées et 14 485 pour celles établies sur route. Ces dérangements se décomposent ainsi, suivant leur nature :

	Lignes sur voies ferrées	Lignes sur routes.
Poteaux atteints par la foudre. . . .	74	108
Poteaux rompus ou mis hors de service pour d'autres causes	505	537
Rupture des fils	1 535	1 786
Pertes, dérivations, mélanges	5 299	5 459
Isolateurs atteints par la foudre . . .	124	91
Isolateurs endommagés par d'autres causes	1 478	4 024
Ruptures des fils d'attache	800	655
Autres dérangements de fils et de lignes	775	1 825
Totaux.	10 590	14 485

Exportation de fils, câbles et appareils télégraphiques. — Les relevés statistiques du Bureau du commerce britannique établissent que l'exportation, par l'Angleterre, de fils, câbles et appareils télégraphiques a pris récemment d'importants développements. Pendant le mois de novembre 1894 elle a atteint une valeur de 1 250 000 francs contre 490 000 francs pendant le même mois de l'année 1893 et 1 000 000 francs en novembre 1892.

La valeur totale de ces produits de l'industrie britannique pendant les onze premiers mois de l'année 1894, a atteint le chiffre de 35 000 000 francs contre 26 250 000 francs en 1893 et 21 875 000 francs en 1892, pour la même période de onze mois.

Erratum.

Dans le tableau de la page 291, relatif à la communication de M. Margaine sur les accumulateurs, se trouvent deux erreurs dues à des transpositions de chiffres; nous reproduisons ci-dessous le tableau rectifié.

DIFFÉRENCE DE POTENTIEL		RENDEMENT	
en fin de charge	en fin de décharge	en quantité	en énergie
2,50 volts.	1,80	0,91	0,74
2,45	1,80	0,93	0,76
2,40	1,80	0,93	0,76

L'Éditeur-Gérant : GEORGES CARRÉ.

Paris. — Imprimerie L. MARETHEUX, 1, rue Cassette.

Tome IV. Samedi 7 Septembre 1895. 2e Année. — N° 36

L'Éclairage Électrique

REVUE HEBDOMADAIRE D'ÉLECTRICITÉ

DIRECTEUR SCIENTIFIQUE : J. BLONDIN

SECRÉTAIRE DE LA RÉDACTION : G. PELLISSIER

ÉTUDE EXPÉRIMENTALE D'UNE PETITE DYNAMO DE 20 A 35 WATTS

(2 à 3,5 kilogrammètres)

MARCHANT EN GÉNÉRATRICE ET EN MOTEUR

Les applications de l'électricité se répandant de plus en plus dans toutes les branches de l'industrie, il devient aussi nécessaire de connaître les toutes petites machines électriques que les plus grandes. C'est cette nécessité qui nous a fait penser à essayer, au laboratoire électrotechnique de l'Ecole spéciale d'Industrie et des Mines du Hainaut, une petite dynamo construite par un amateur qui désirait avoir une idée de ses conditions de marche.

Nous ne dirons rien des données de construction ni des calculs préliminaires qui ont été forcément bien réduits, le constructeur n'étant pas électricien de profession, mais nous constaterons que la machine est généralement assez bien proportionnée et bien construite.

Nous possédions aussi au même moment une dynamo de 7 kilogrammètres environ qui nous a fait défaut au milieu de nos expériences à la suite d'un accident arrivé à l'anneau. Nous dirons en finissant un mot de quelques rendements que nous avons pu relever sur cette dernière machine.

DESCRIPTION DE LA DYNAMO DE 20 A 35 WATTS

La machine est représentée aux deux coupes des figures 1 et 2. Elle est du type Manchester. Toute la carcasse est en fer, le noyau de l'induit en fil. Les dimensions principales sont indiquées sur le dessin et ce dernier est exécuté à l'échelle.

L'enroulement des inducteurs est constitué par deux fils ronds de 1 mm. de diamètre réunis en quantité, et il comprend 206 spires par électro.

L'anneau bobiné a 60 mm. de diamètre. Il est recouvert extérieurement de trois couches de fil de 1 mm. donnant 280 spires. Les connexions font de la machine une dynamo série.

Nous l'avons d'abord essayée en moteur, puis en génératrice.

Nous nous proposons dans cette étude de déterminer principalement les courbes des variations de valeur des différents éléments de fonctionnement de la machine et de prévoir, pour les applications, entre quelles limites varient les divers rendements.

ESSAI EN MOTEUR SOUS VOLTAGE CONSTANT DE 15 VOLTS

On connait généralement assez bien l'allure des courbes de fonctionnement des moteurs électriques, mais on peut les préciser davantage, pensons-nous. Aussi, nous espérons que le lecteur nous pardonnera d'y revenir un moment pour combler cette lacune et dans l'inté-

rêt de la clarté d'exposition de nos résultats.

Dans ce qui va suivre, nous aurons toujours en vue les machines séries.

Soient :

E la f. é. m. aux bornes ; e la f. c. é. m., i le courant ; r_a et r_i les résistances électriques de l'armature et des inducteurs ; R la résistance totale $r_a + r_i$; P_t la puissance totale dépensée ; P_u la puissance utile recueillie sur l'arbre du moteur ; p_j, p_f, p_h et p_v les puissances perdues par effet Joule, frottements mécaniques, hystérésis et courants de Foucault. Désignons par P_c la puissance électrique nette fournie à l'induit pour le faire tourner, c'est-à-dire $P_t - p_j$, ou encore la puissance due au couple brut développé et égale à ce couple multiplié

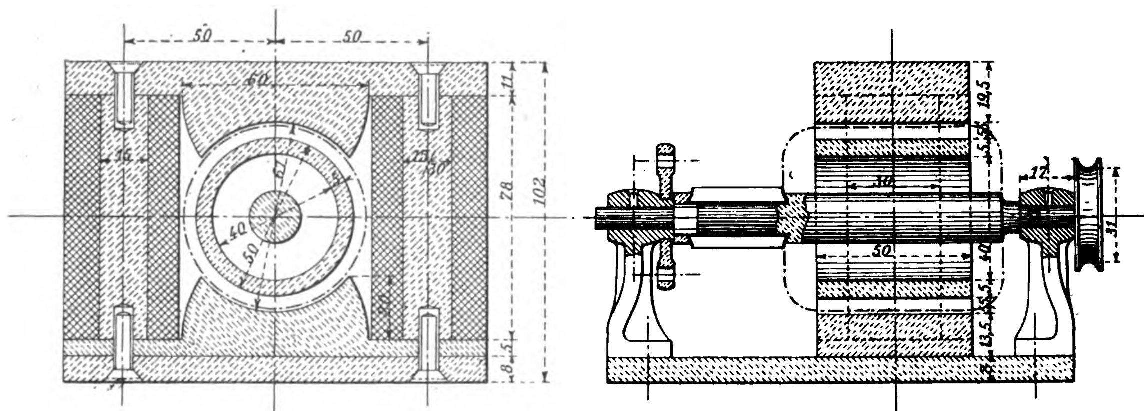


Fig. 1 et 2. — Coupes transversale et longitudinale du moteur (à l'échelle 4/10).

par la vitesse angulaire de l'anneau. On aura

$$P_t = Ei, \qquad P_c = ei.$$

$R_e = \frac{P_c}{P_t}$ sera le rendement électrique $R_t = \frac{P_u}{P_c}$ le rendement de transformation ; $R_n = \frac{P_u}{P_t}$ le rendement total, commercial ou net, égal au produit des deux premiers.

Négligeons d'abord les pertes de puissance par frottements mécaniques, hystérésis et courants de Foucault ainsi que la réaction d'induit, la variation des pertes de flux et déterminons les courbes caractéristiques du fonctionnement *sous potentiel constant.*

Nous avons la relation :

$$4\pi n'i = \Phi r. \qquad (1)$$

n' étant le nombre de spires inductrices par électro, i le courant, Φ le flux utile dans l'induit et r la réluctance magnétique totale par rapport au flux utile.

On connaît la forme des courbes des Φr (des f. m. m.) en fonction des flux. Pour rendre le travail plus intéressant, quoique nous ne cherchions aucunement l'exactitude dans ces calculs préliminaires qui tendent seulement à la prédétermination de la forme des courbes, nous tracerons la courbe d'Hopkinson de la carcasse de notre moteur au moyen de quelques résultats d'un levé que nous avons fait par la méthode balistique, résultats que nous donnons ci-dessous

Courant d'excitation des inducteurs =	4	6,6	9,05	12,05	ampères.
$4\pi n'i$ ($n' = 206$) $= 2\,509\ i$. . . . . =	1 035	1 707	2 340	3 120	C. G. S.
Flux utile. . . . . =	42 000	68 300	89 700	102 200	C. G. S.

La figure 3 représente la courbe des Φr tracée au moyen de ces nombres.

Nous donnant des courants i variés nous pouvons donc déterminer les flux correspondants en nous servant de la figure 3 ; nous obtenons

$i =$	2	4	6	8	10	12	14	ampères.
$4\pi n'i =$	517,5	1 035	1 552,5	2 070	2 587,5	3 105	3 622,5	—
$\Phi =$	22 200	42 000	62 200	80 000	95 000	102 000	108 000	—

E étant la force électromotrice aux bornes :

$$E = e + Ri \quad \text{et} \quad e = E - Ri = nN\Phi; \qquad (2)$$

n est le nombre de spires de l'enroulement d'induit, N le nombre de tours de l'arbre par seconde.

$n = 280$, R = 0,98 ohm à une température moyenne, à chaud. Adoptons 15 volts pour différence de potentiel aux bornes; nous aurons alors

$i =$	2	4	6	8	10	12	14	ampères.
$Ri =$	1,96	3,92	5,88	7,84	9,8	11,78	13,7	volts.
$e = E - Ri =$	13,04	11,08	9,12	7,16	5,2	3,22	1,3	volts.
$N = \frac{e}{n\Phi} = \frac{e}{280\,\Phi} =$	210	98	52,5	32	19,6	11,3	4,3	tours p. s.
$N' =$	12 600	5 880	3 150	1 920	1 170	676	258	tours p. m.
$P_t = Ei =$	30	60	90	120	150	180	210	watts.
$P_e = ei =$	26	44,3	54,7	57,2	52	38,5	15,6	watts.
$R_e = \frac{P_e}{P_t} = \frac{e}{E} =$	0,867	0,74	0,607	0,475	0,346	0,215	0,087	

La figure 4 traduit les résultats de ces calculs.

On voit que la puissance totale dépensée diminue rapidement avec la vitesse et qu'elle tend asymptotiquement vers zéro. La puissance électrique nette fournie passe par un maximum vers 2 000 tours et tend aussi vers zéro en se rapprochant de plus en plus, au fur et à mesure que la vitesse augmente, de la valeur de la puissance totale dépensée. Le rendement électrique, égal à zéro pour une vitesse nulle, marche vers un maximum qui est atteint à une vitesse infinie. Le voltage effectif e augmente comme le rendement électrique, avec la vitesse. Quant au flux et au courant, ils suivent à peu près l'allure de la puissance totale fournie, c'est-à-dire qu'ils partent d'un maximum pour marcher vers une valeur nulle. La puissance perdue par effet Joule, d'abord très grande, diminue rapidement, tend aussi vers zéro, en produisant l'allure connue de la courbe du rendement électrique.

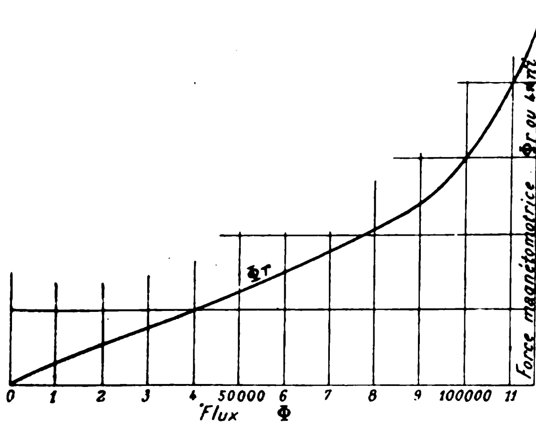


Fig. 5.

Tenons compte maintenant des effets parasites, des résistances passives, et voyons quelle modification elles apportent dans l'allure des courbes.

Frottements mécaniques. — Ceux-ci comprennent principalement les frottements des balais et des tourillons de l'arbre. Ils sont assez difficiles à évaluer parce que l'on connaît peu la valeur des coefficients de frottement à employer.

Faisons nos calculs pour quelques vitesses et soient :

$N' =$		1 170	1 920	3 150	5 880	12 600 tours
$N =$		19,6	32	52,5	98	210 —
Vitesse linéaire de l'arbre. =		0,43	0,7	1,16	2,17	4,64 mètres.
Coefficients	f (paliers). =	0,15	0,20	0,25	0,35	0,5
de frottement.	f' (balais). =	0,20	0,30	0,35	0,45	0,6

Nous nous sommes donné des coefficients de frottement approximatifs, au jugé, d'après nos connaissances sur la question, en tenant compte des grandes vitesses, de l'imperfection de l'ajustement de petites pièces par des ouvriers habitués à travailler les gros organes de machines et du caractère primitif du graissage (par intermittence).

Les diamètres des tourillons et du collecteur étant de 0,7 cm. et 1,8 cm., le poids de l'induit et du frein de Prony avec sa charge étant à peu près de 1,2 kg., la pression des balais de 0,4 kg., nous avons pour perte de puissance par frottements mécaniques :

$$p_f = 1,2 \times f \times 0,007 \times 3,14 \times N \times 9,81$$
$$+ 0,4 f' \times 0,018 \times 3,14 \times N \times 9,81 \text{ watts.}$$
$$p_f = 0,258\, fN + 0,222\, f'N. \qquad (4)$$

Nous obtenons en effectuant les calculs :

$$p_f = \quad 1,41 \qquad 3,2 \qquad 6,3 \qquad 16,4 \qquad 50,3 \text{ watts.}$$

Hystérésis. — Appliquons la formule connue pour 3 150 et 5 880 tours.

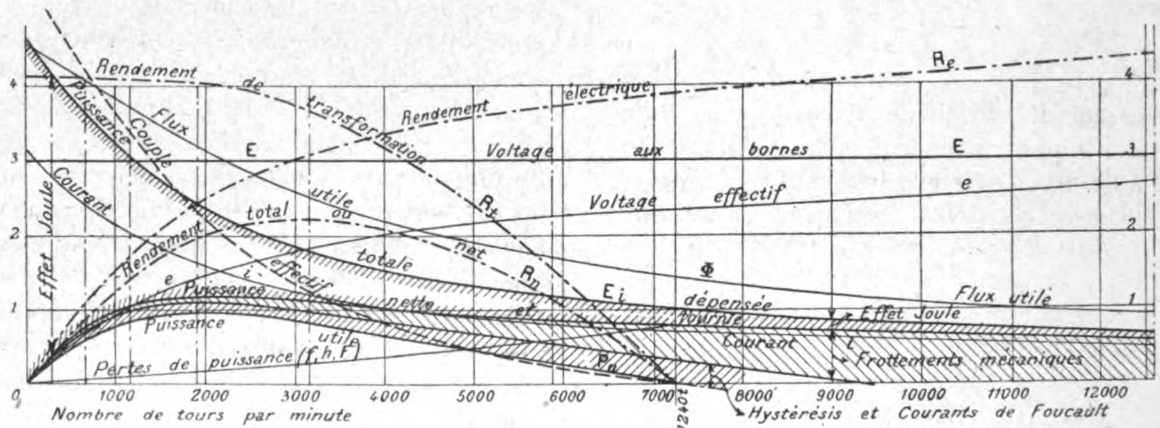


Fig. 4. — Courbes de fonctionnement en moteur série sous voltage constant. Prévisions théoriques.

Les inductions spécifiques dans l'induit sont :

$$\frac{62\,200}{5} = 12\,440 \qquad \text{et} \qquad \frac{42\,000}{5} = 8\,400.$$

Comme la section du noyau est en fil rond, présentant des vides, nous prendrons 13 500 et 9 500.

La formule de Steinmetz donne :

$$p_{h.} = nF\mathfrak{B}^{1,6} \times 10^{-7} \times V = 0,0035 \times \frac{3\,150}{60}$$
$$\times 4,05 \times 10^6 \times 10^{-7} \times 35,3 = 2,65 \text{ watts ;} \qquad (5)$$
$$p_{h.} = 0,0035 \times \frac{5\,880}{60} \times 2,35 \times 10^6 \times 10^{-7}$$
$$\times 35,3 = 2,85 \text{ watts.}$$

V est le volume en centimètres cubes du noyau de l'induit.

Courants de Foucault. — Appliquons une formule connue :

$$p_v = \frac{(\pi r_1 F \mathfrak{B})^2}{4\alpha} \times 10^{-16}\, V. \qquad (6)$$

dans laquelle : α est la résistivité du fer ; r_1, le rayon du fil de fer constituant le noyau de l'induit ; F le nombre de renversements de l'aimantation par seconde ; B l'induction spécifique, V le volume en centimètres cubes du noyau de l'induit.

Nous obtenons :

pour 150 tours, $p_v = 1,13$ watt ;
id. 5 880 id., $p_v = 1,9$ id.

Le fil de fer du noyau de l'induit n'étant pas isolé, nous quadruplons ces valeurs,

$$p_v = 4,5 \qquad \text{et} \qquad 7,6 \text{ watts.}$$

Pour les vitesses de 3 150 et 5 880 tours, les pertes de puissance totales, en dehors de l'effet Joule, sont donc à peu près, en forçant :

$$13,5 \qquad \text{et} \qquad 26,9 \text{ watts,}$$

En reportant les résultats de ces calculs sur

les puissances parasites, sur la figure 4, nous avons obtenu les puissances utiles, les rendements de transformation et les rendements totaux ou nets.

Pour 3 150 et 5 880 tours notamment nous obtenons par le calcul :

3 150 tours,	$P_u = 41{,}4$ watts,	Rendement total	$= 0{,}46$
5 880 id.	$P_u = 17{,}4$ id.	id.	$= 0{,}20$.

Le *couple utile ou effectif* se calcule en divisant la puissance utile par la vitesse angulaire de l'induit :

$$\omega = 2\pi N = \quad 71 \quad 122{,}5 \quad 200{,}5 \quad 330 \quad 615$$

$$C = \frac{P_u}{\omega} = \quad 0{,}42 \quad 0{,}35 \quad 0{,}233 \quad 0{,}125 \quad 0{,}021 \times 10^7$$

Le couple effectif de démarrage est donné en continuant la courbe correspondante jusqu'à l'ordonnée de la vitesse nulle.

Le *couple brut* se calcule par la relation :

$$C = \frac{n\Phi i}{2\pi}. \qquad (3)$$

Au démarrage il est de

$$C = \frac{280 \times 113\,000 \times 1{,}53}{6{,}28} = 0{,}708 \times 10^7,$$

alors que le diagramme de la figure 4 donne $0{,}55 \times 10^7$ environ pour le couple effectif. Rapport : 0,72.

Examen des résultats du calcul. — Passons maintenant en revue les résultats du calcul, exécuté succinctement et dans le but de prévoir l'allure des courbes de fonctionnement que l'expérience va nous révéler.

La perte de puissance par frottements mécaniques va en augmentant avec la vitesse, mais suivant une loi encore imparfaitement connue. Cependant, on peut admettre que le coefficient de frottement est fonction de la vitesse, pour une pression donnée, et dès lors, la puissance absorbée varie comme les ordonnées d'une courbe (elle est fonction du carré de la vitesse).

Les pertes par hystérésis et par courants de Foucault augmentent aussi avec la vitesse et avec le carré de la vitesse. Il suit de là que la surface représentant toutes ces pertes est limitée par une courbe dont les ordonnées vont en croissant. Ces observations à propos des pertes de puissance seront applicables chaque fois que la vitesse sera variable.

Pour un moteur série fonctionnant sous potentiel constant, les pertes considérées seront représentées par des surfaces semblables à celles qui sont hachurées sur la figure 4.

Il y a donc une vitesse, ici 7 240 tours, pour laquelle toute la puissance fournie est absorbée par les pertes : c'est la vitesse du moteur marchant à vide.

Le rendement de transformation, étant le rapport de la puissance utile à la puissance électrique nette *ei*, est nul à 7 240 tours, et il augmente quand la vitesse diminue, pour arriver à une valeur maxima limite au démarrage.

Le rendement total ou net, produit du rendement électrique et du rendement de transformation, qui tous deux partent de zéro et tendent vers un maximum, mais en sens inverse, passe nécessairement, entre une vitesse nulle et 7 240 tours, par une valeur maxima qui se produit ici vers 3 200 tours.

La puissance utile maxima, à 2 000 tours, est de 48 watts.

Le rendement maximum, à 3 200 tours et pour 40 watts, est de 45 p. 100 environ.

Le couple effectif part d'un maximum et tombe rapidement jusqu'à ce que la vitesse soit de 7 240 tours, vitesse à laquelle il est nul.

Résultat des expériences sous potentiel constant. — Nous avons opéré à l'aide d'un petit frein de Prony, absolument rudimentaire, construit à la hâte, mais qui se tenait relativement bien en équilibre. La preuve en est que nos courbes des résultats obtenus sont régulières. Le graissage était très difficile à entretenir dans les conditions où nous opérions, parce que le nombre d'opérateurs était insuffisant ; cette circonstance et le fait qu'il s'agit de puissances minimes, expliquent certaines petites irrégularités des résultats partiels.

Les nombres obtenus sont indiqués dans

le tableau I. Ils nous ont permis de tracer le diagramme de la figure 5.

On y remarque d'abord que tous les éléments de marche vàrient en pratique comme les résultats théoriques de la figure 4 le prévoient.

Les résistances passives ont plus d'importance que les calculs l'indiquent, ce qui abaisse un peu la vitesse à vide (6 500 tours au lieu de 7 240), la puissance maxima, le rendement total et le couple effectif.

Remarquons d'ailleurs que nous n'avons pas tenu compte de la réaction d'induit ni des variations des pertes de flux et que nous avons dû faire des hypothèses quant à la valeur des coefficients de frottement.

La puissance maxima est de 40 watts (4,08 kilogrammètres) vers 2 000 tours et le rendement maximum, pour 3 200 tours environ et 37 watts (3,78 kgm.), est de 36 p. 100.

Tableau I. — Essai en moteur série sous voltage constant de 15 volts

Puissance totale fournie aux bornes.			Perte par effet Joule Ri^2 (4)	Puissance électrique nette fournie ei (5)	Rendement électrique R_e (6)	Puissance utile P_u recueillie au frein.				Rendement de transformation.	Rendement total ou net.	Nombre de tours par minute.	Perte ohmique Ri	Voltage effectif e.	Couple utile ou effectif.	Observations.
volts E (1)	ampères i (2)	watts Ei (3)				Bras de levier.	Charge.	Kilogrammètres.	watts.							
15	3,55	53,2	12,4	40,8	0,77	0,2 m.	0k 00	0	0	0	0	6 500	3,50	11,5	0	Les calculs sont exécutés à la règle.
—	6	90	34,8	55,2	0,615	—	0,04	3,1	30,3	0,55	0,338	3 700	6,0	9,0	0,08 × 10^7	
—	7,45	122	54,4	67,6	0,554	—	0,07	3,88	38	0,565	0,312	2 650	7,4	7,6	0,14	
—	9	135	69,3	65,7	0,485	—	0,100	4,18	41,0	0,62	0,30	2 000	9,0	6,0	0,20	
—	10,65	160	111,5	48,5	0,303	—	0,120	3,25	32,0	0,66	0,20	1 300	10,7	4,3	0,24	
—	11,05	166	119,7	46,3	0,28	—	0,130	3,00	29,5	0,64	0,18	1 100	11,1	3,9	0,26	
—	15,3	230	230	0	0	—	0	0	0	$\frac{0}{0}$	0	0	15,0	0	$\frac{0}{0}$	

Nous pouvons conclure que les résistances passives ont beaucoup d'importance dans ce petit moteur, cependant assez bien construit, et que le rendement maximum total ou net est faible. Il est vrai que le rendement électrique correspondant à ce dernier est lui-même seulement de 63 p. 100, parce que la section du fil des inducteurs est trop faible pour le courant qui y circule (6,2 ampères).

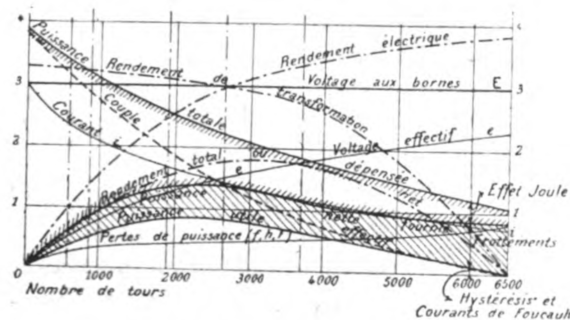


Fig. 5. — Courbes de fonctionnement en moteur série sous voltage constant. Résultats d'expériences.

ESSAI EN MOTEUR SOUS COURANT CONSTANT DE 6,6 AMPÈRES

Nous avons remarqué pendant nos expériences que les étincelles au collecteur étaient peu importantes, mais que leur minimum était difficile à observer, enfin que le décalage était faible. Cette dernière observation nous permet de négliger la réaction d'induit dans un calcul qui a seulement pour but de déterminer assez exactement la *forme* des courbes du fonctionnement sous courant constant.

La petitesse de l'angle de calage s'explique parfaitement par le grand entrefer et le petit courant de circulation dans l'induit, qui est seulement de 6,6 ampères.

La formule (1) donne :

$$4\pi n' i = 4 \times 3{,}14 \times 206 \times 0{,}66 = 1710$$

La valeur de Φ correspondante, est, d'après la courbe de la figure 3, de 68 590 unités C. G. S,

La perte ohmique Ri est constante. C'est :

$$Ri = 0{,}98 \times 6{,}6 = 6{,}5 \text{ volts.}$$

Donnons-nous des nombres de tours variés

et déterminons les valeurs correspondantes des éléments de fonctionnement au moyen de formules connues indiquées dans le tableau ci-dessous.

$N' =$	1 000	2 000	3 000	5 000	7000	9000	11 000	13 000	15 000	tours par m.
$N =$	16,7	33,3	50	83,3	116,7	150	183,6	217	250	tours par s.
$\omega = 2\pi N =$	98,5	210	314	523	732	942	1156	1360	1570	mètres p. s.
$e = nN\Phi = 1,92.10^7 N =$	3,2	6,4	9,6	16	22,4	28,8	35,2	41,5	48	volts.
$E = e + Ri =$	9,7	12,9	16,1	22,5	28,9	35,3	41,7	48	54,5	volts.
$P_t = Ei =$	64	85	106,4	148	194	233	275	316	358	watts.
$P_e = ei =$	21,2	42	63	105,5	148	190	232	273	317	watts.
$R_e = \frac{ei}{Ei} =$	0,32	0,49	0,59	0,76	0,71	0,81	0,84	0,87	0,89	
$Ri^2 =$	43	43	43	43	43	43	43	43	43	watts.
Frottements $p_f = 0,258 fN + 0,222 f'N$ (4) — $f =$	»	0,20	0,25	0,35	0,45	0,55	0,65	0,75	»	
$f' =$	»	0,30	0,35	0,45	0,55	0,65	0,75	0,85	»	
$0,258 fN$	»	1,73	3,23	7,52	13,6	21,2	30,8	42	»	
$0,222 f'N$	»	2,22	3,9	10,50	14,25	21,6	30,5	41	»	
$p_f =$	»	3,93	7,13	18	27,85	42,8	61,3	83	»	watts.
$p_h = nFB^{1,6}V \times 10^{-7}$; $p_F = \frac{(\pi r F B^2 V.10^{-10})}{4\alpha}$ — $\mathfrak{B} =$	»	13700	13700	13700	13700	13700	13700	13700	»	
$\mathfrak{B}^{1,6} =$	»	$4,17 \times 10^6$	4,17	4,17	4,17	4,17	4,17	4,17	»	
$p_h = 0,0515 N =$	»	1,72	2,68	4,3	6,05	7,72	9,5	11,2	»	watts.
$p_F = 4,25.10^{-4} N^2 =$	»	0,47	1,06	3	5,8	9,6	14,3	20	»	watts.
$p_F \times 4 =$	»	2	4	12	24	38	57	80	»	watts.
$p_f + p_h + p_F =$	»	7,7	13,8	34,3	57,9	88,5	127,8	174,2	»	watts.
$P_u =$	»	34,3	49,2	71,2	88,1	101,5	104,2	98,8	»	watts.
$R_u = \frac{P_u}{P_t} =$	»	0,4	0,46	0,48	0,46	0,44	0,38	0,31	0,24	
$C_{brut} = \frac{ei}{\omega} = \frac{n\Phi i}{2\pi} =$	0,202	0,202	0,202	0,202	0,202	0,202	0,202	0,202	0,202	$\times 10^7$ C.G.S.
$C_u = \frac{P_u}{\omega} =$	»	0,164	0,157	0,136	0,12	0,108	0,09	0,072	»	$\times 10^7$ C.G.S.
$R_t = \frac{P_u}{P_e} =$	»	0,82	0,78	0,67	0,6	0,54	0,45	0,36	0,27	

La figure 6 donne graphiquement les valeurs trouvées dans les calculs précédents.

Le courant étant constant, la réaction d'induit et le flux le sont également. Le voltage ainsi que la puissance totale dépensée et la puissance électrique nette fournie varient aussi proportionnellement à la vitesse. Ces puissances sont donc représentées par des droites.

Le rendement électrique, rapport de ces puissances, part de zéro pour une vitesse nulle et tend vers un maximum.

Pour les raisons déjà indiquées, il y a lieu de supposer que les pertes de puissance, autres que par effet Joule, sont représentées par les ordonnées de courbes que l'on peut difficilement prévoir avec exactitude dans l'état actuel de nos connaissances expérimentales. Ces courbes font que la ligne de la puissance utile finit par s'infléchir vers l'axe des vitesses et

qu'il existe une allure de marche à rendement total maximum.

Les mêmes courbes font que le rendement de transformation diminue avec la vitesse et que le rendement total passe par un maximum correspondant ici à une vitesse moindre que la vitesse de puissance maxima.

Le rendement maximum, vers 4 500 tours,

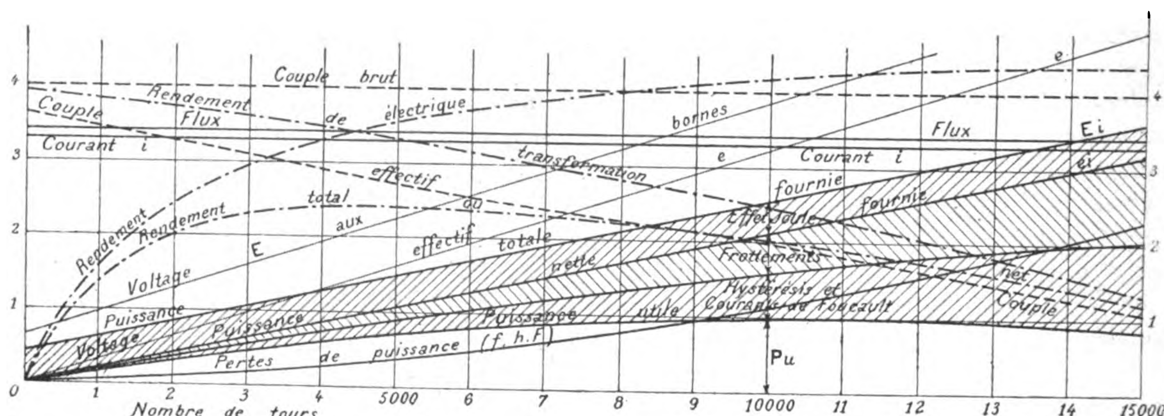


Fig. 6. — Courbes de fonctionnement en moteur série, sans courant constant. Prévisions théoriques.

est de 48 p. 100, et la puissance maxima, à 11 000 tours et 38 p. 100 de rendement, est de 104 watts.

Le couple effectif diminue la valeur avec la vitesse parce que nous avons supposé que les résistances passives augmentent plus vite que la vitesse. Il est égal au couple brut moins le couple parasite des résistances passives.

Résultats des expériences sous courant constant de 6,6 ampères. — Ils sont indiqués dans le tableau II et par la figure 7.

TABLEAU II. — ESSAI EN MOTEUR SÉRIE SOUS COURANT CONSTANT DE 6,6 AMPÈRES.

Puissance totale fournie aux bornes: volts E	ampères i	watts Ei	Perte par effet Joule Ri^2	Puissance électrique nette fournie	Rendement électrique R_e	Puissance utile P_u recueillie au frein: bras de levier	charge	kilogrammètres	watts utiles	Rendement de transformation	Rendement total ou net	Nombre de tours par minute	Perte ohmique Ri	Voltage effectif e	Couple effectif	Observations
9.1	6,6	61.8	42.6	19,2	0,312	0.2 m.	0,05 kg.	1,45	11,3	0,59	0,18	1 100	6,5	2.9	0.098 × 10^7	Les calculs sont exécutés à la règle.
10	6.6	66	42.6	23.4	0,356	—	0,05	1.48	14.5	0,62	0,22	1 300	—	3,5	—	
12	6.6	79,2	42.6	36.6	0.462	—	0,05	2.10	20.5	0,56	0,26	2 000	—	5,5	—	
15	6.6	99	42,6	56.4	0,572	—	0.05	3.4	33	0,59	0,33	3 200	—	8,5	—	
17	6,6	112.2	42,6	69,2	0,62	—	0,05	4.5	44,1	0,64	0,393	4 300	—	10.5	—	
18	6,6	119	42.6	75.5	0,645	—	0,05	4.8	47,2	0,63	0,396	4 600	—	11,5	—	
19	6,6	125.2	42.6	83	0.665	—	0.05	5,2	51.2	0.62	0,41	5 000	—	12,5	—	
21	6,6	135.5	42.6	97,4	0,70	—	0,05	5,8	56,8	0.59	0.412	5 550	—	14.5	—	
23,7	6.6	156	42.6	113,4	0,78	—	0,048	6.6	65	0,59	0.417	6 500	—	17,2	0,094 × 10^7	

On voit par cette figure que l'allure générale des courbes est celle de la figure 6. Le rendement total maximum semble seulement être atteint vers 7 000 tours et la puissance maxima est beaucoup plus reculée encore.

Le couple effectif est presque constant jusqu'à 7 000 tours, ce qui indiquerait que, tout au moins jusqu'à cette vitesse, les résistances passives n'ont pas augmenté avec la vitesse. Cette contradiction avec nos prévisions, basées sur des expériences antérieures, serait-elle due à ce que le graissage a été irrégulier, plus soi-

gné aux grandes vitesses, et à ce que l'opérateur a eu une tendance à maintenir le frein en dessous de l'horizontale pour avoir même charge à toute allure. Nous ne saurions le dire ; occupé aux lectures des galvanomètres, nous ne voyions que rarement le frein. Nous ne pouvons pas non plus répéter nos expériences en ce moment à cause des modifications que l'on apporte au laboratoire, mais nous reviendrons plus tard sur la question et nous ferons dans quelques semaines des expériences étendues sur le frottement mécanique des dynamos.

On peut voir par la comparaison des deux tableaux I et II, constitués avec les résultats

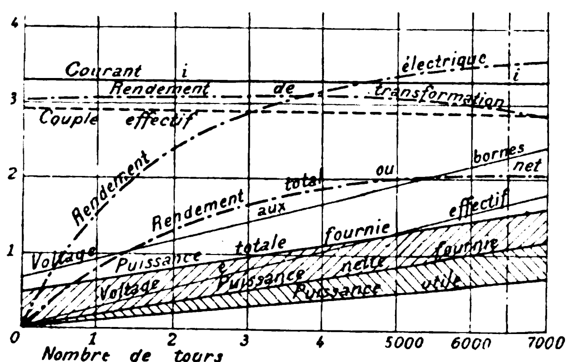


Fig. 7. — Courbes de fonctionnement en moteur série, sous courant constant. Résultats d'expériences.

des expériences, qu'il y a concordance pour les points correspondant au même régime de voltage et d'ampérage.

ESSAI EN GÉNÉRATRICE A LA VITESSE CONSTANTE DE 5 000 TOURS.

Les essais en génératrice sont moins intéressants que ceux en moteur parce que les caractéristiques relatives au premier mode de fonctionnement sont généralement mieux connues. Nous nous en occuperons moins et nous donnerons de suite les résultats des expériences. Ces derniers sont consignés dans le tableau III et la figure 8.

La grande vitesse de 5 000 tours était nécessaire pour développer dans le circuit extérieur une puissance appréciable.

La puissance totale dépensée a été obtenue en actionnant la dynamo par un fort moteur électrique shunt au moyen d'une courroie, enlevant la courroie en marche, reproduisant même vitesse au moteur à vide et faisant la différence des puissances que ce dernier absorbait à charge et à vide. Vu la faible puissance supplémentaire au moteur chargé et la faible tension de la courroie, nous pensons que les résultats sont exacts.

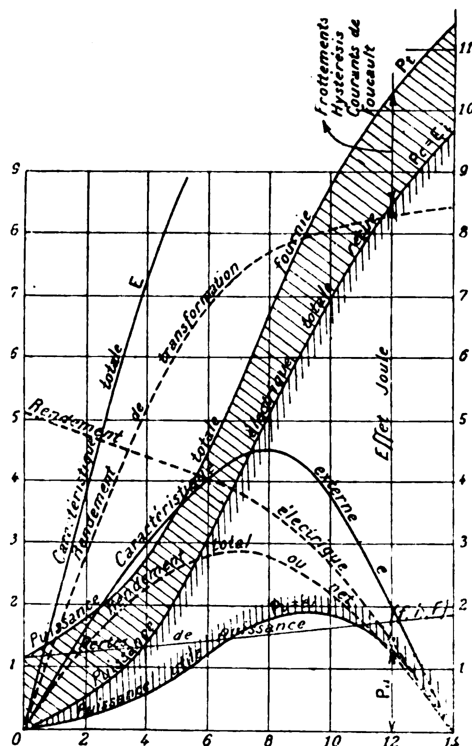


Fig. 8. — Courbes de fonctionnement en génératrice série, à vitesse constante. Résultats d'expériences.

La caractéristique externe est assez fortement plongeante, ce qui est dû à la réaction d'induit et à l'augmentation des pertes de flux avec le débit.

La courbe du couple mécanique développé par le moteur électrique pour entraîner la dynamo peut être la même que celle qui représente la puissance totale dépensée, mais à une échelle différente. Ce couple est en effet mesuré par le quotient de la puissance considérée par la vitesse angulaire invariable de la dynamo.

Les pertes par effet Joule croissant avec le débit, le rendement électrique part de zéro au débit maximum et marche vers une valeur limite, mais positive, correspondant au débit nul.

La puissance absorbée par frottements mécaniques, hystérésis et courants de Foucault existant à tout débit et la puissance électrique totale développée croissant avec ce dernier, le rendement de transformation est zéro au débit nul et maximum au débit le plus grand.

Le rendement total, commercial ou net passe donc nécessairement par une valeur maxima qui est atteinte ici avant la puissance maxima, contrairement à ce que l'on trouve dans la marche en moteur sous potentiel constant aux bornes. Ce point de rendement le plus fort correspond à la première partie de la caractéristique externe, c'est-à-dire au régime instable de la dynamo.

La puissance utile maxima est de 39 watts pour 24 p. 100 de rendement, et le rendement maximum est de 29 p. 100, pour 30 watts. Le rendement électrique correspondant à ce dernier est de 39 p. 100, valeur qui montre que la machine est trop résistante au point de vue électrique. Ce sont les inducteurs surtout qui sont trop résistants.

Tableau III. — Essai en génératrice série a la vitesse constante de 5 000 tours.

Puissance utile recueillie dans le circuit extérieur			Puissance fournie par le moteur électrique P_t	Perte de puissance par effet Joule Ri^2	Puissance électrique totale développée $P_c = Ei$	Rendement électrique $R_e = \frac{P_u}{P_e}$	Rendement de transformation $R_t = \frac{P_c}{P_t}$	Rendement total ou net $R_n = \frac{P_u}{P_t}$	Perte ohmique en volts Ri	Voltage total E	Couple mécanique développé par le moteur $\frac{P_t}{\omega}$	Observations
volts e	ampères i	watts $P_u = ei$										
2,8	3,5	9,8	48	12	21,8	0,45	0,46	0,205	3,5	6,3	0,092 × 10^7	
3,7	5,2	19,2	74	27	46,2	0,416	0,63	0,26	5,2	8,9	0,142	
4,2	6,35	26,8	95	40	66,8	0,40	0,71	0,284	6,4	10,6	0,162	
4,5	7,75	35	124	60	95	0,37	0,77	5,283	7,9	12,4	0,238	
4	9,75	39	166	95	134	0,29	0,805	0,235	10	14	0,318	
3,4	10,6	36	184	113	149	0,24	0,81	0,20	14,4	11	0,352	
2	12	24	203	144	168	0,14	0,822	0,12	12,4	14,4	0,39	
0,9	13	11,7	217	170	181,7	0,06	0,84	0,05	13,6	14,5	0,415	

On peut remarquer que la force électromotrice totale développée en génératrice est un peu inférieure à la force contre-électromotrice produite en moteur sous même débit et même vitesse. Cela peut être dû à un décalage relatif différent dans les deux modes de fonctionnement ou à une position relative différente des deux balais, que nous n'avons pu reproduire en génératrice malgré nos tentatives. Il faut observer que le placement de ces derniers est très difficile dans ces minuscules dynamos, surtout si leur agencement n'est pas perfectionné.

Du reste, le minimum d'étincelles étant peu apparent, un peu trop de décalage dans un essai, un peu trop peu dans l'autre donnent facilement les différences constatées.

Le rendement total est plus faible en génératrice qu'en moteur, ce qui est conforme à la théorie.

Essai en génératrice série sous courant constant de 6,5 ampères

Les courbes de fonctionnement relatives à cet essai se prévoient facilement sans calculs préliminaires. Nous passerons de suite aux résultats qui sont indiqués dans le tableau IV et traduits graphiquement par la figure 9.

Les courbes sont continuées au jugé au delà de 6 000 tours,

La puissance utile et la puissance totale électriques développées sont représentées par des droites puisque le flux et le courant sont invariables.

La puissance fournie par le moteur électrique (P_t) varie, semble-t-il, suivant les ordon-

nées d'une courbe à très faible courbure.

Les rendements électriques et de transformation variant en sens inverse, le rendement total, commercial ou net doit passer par un maximum. On ne gagne déjà presque plus au delà de 6 000 tours.

Les lignes des voltages et de la résistance extérieure sont des droites et deux d'entre elles passent par un point de l'axe des vitesses, vers 3 100 tours. En ce point, la dynamo fonctionne en court circuit et elle développe 6,5 volts employés à faire circuler 6,5 ampères dans les fils de la machine.

Pour deux points à peu près concordants des tableaux III et IV, ceux des troisièmes lignes de ces tableaux, les rendements totaux sont 0,284 et 0,262.

La différence provient surtout des rendements de transformation et elle s'explique par les différences de vitesses. Les courants sont d'ailleurs aussi un peu différents.

TABLEAU IV. — ESSAI EN GÉNÉRATRICE SÉRIE SOUS COURANT CONSTANT DE 6,5 AMPÈRES

VITESSE en tours par minute N	PUISSANCE UTILE recueillie dans le circuit extérieur.			PUISSANCE fournie par le moteur électrique P_t	PERTE de puissance par effet Joule Ri^2	PUISSANCE électrique totale développée $P_c = Ei$.	RENDEMENT électrique $R_e = \frac{P_u}{P_c}$	RENDEMENT de transformation $R_t = \frac{P_c}{P_u}$	RENDEMENT total ou net $R_n = \frac{P_u}{P_t}$	PERTE ohmique en volts Ri	VOLTAGE total E.	COUPLE mécanique développé par le moteur. $\frac{P_t}{\omega}$	OBSERVATIONS
	volts e	ampères i	watts P_u										
4 600	3,1	6,5	20	83,5	41,5	61,5	0,32	0,74	0,24	6,5	9,6	0,174 × 10[7]	Les calculs sont exécutés à la règle.
4 970	3,9	—	25,3	98,6	—	66,3	0,38	0,68	0,255	—	10,4	0,190	
5 270	4,5	—	29,2	111,8	—	70,7	0,415	0,63.	0,262	—	11	0,203	
5 720	5,5	—	35,8	129,8	—	77,3	0,465	0,60	0,275	—	12	0,216	
5 970	6	—	39	138	—	80,5	0,49	0,58	0,283	—	12,5	0,222	

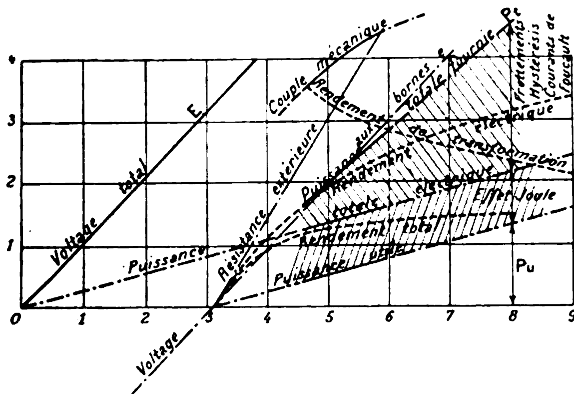


Fig. 9. — Courbes de fonctionnement en génératrice série, sous courant constant. Résultats d'expériences.

Le couple mécanique développé par le moteur électrique pour entraîner la génératrice n'est pas constant, quoique le couple électrique $\frac{n\Phi i}{2\pi}$ le soit. C'est que le couple parasite des résistances passives (frottements, hystérésis et courants de Foucault) croît avec la vitesse.

FROTTEMENTS MÉCANIQUES

Essai en génératrice sous courant constant. — Nous commencerons par cet essai parce que nous possédons des renseignements spéciaux qui y sont relatifs.

Nous calculerons approximativement la valeur des coefficients de frottement des tourillons dans les paliers et des balais sur le collecteur de sorte que l'on pourra en tirer des renseignements pour le calcul des petites dynamos.

D'après le tableau IV, on peut voir que la puissance absorbée par frottements mécaniques, hystérésis et courants de Foucault, a été :

pour	4 600	4 970	5 270	5 720	5 970	tours,
de	22	32,3	41,1	52,5	57,5	watts.

En faisant la différence des puissances dépensées par le moteur entraînant la dynamo non excitée et à vide, nous avons trouvé pour pertes de puissance par frottements mécaniques seulement :

4 700	5 300	5 900	tours,
25,2	36	45	watts.

D'après ces résultats et nos calculs antérieurs, nous admettrons que la perte par hystérésis et courants de Foucault se répartit comme suit :

	4 600	4 970	5 270	5 720	5 970	tours;
$p_h + p_f =$	7	7,3	8,1	10	12	watts.

Il reste alors pour les frottements mécaniques :

15	25	33	42,5	45,5	watts.

En excitant les inducteurs par un courant de 6,3 ampères, nous avons obtenu, pour les deux pertes réunies, 41,1 watts à 5 200 tours, chiffres qui correspondent à ceux du tableau ci-dessus.

La tension de la courroie, mesurée au dynamomètre, était sensiblement 4,8 kg. La décomposition géométrique de cette force sur les paliers, et la composition avec le poids de l'induit lui-même, donnent 6 kg. pour la pression totale sur les supports en bronze de l'arbre. La pression totale des deux balais (ceux-ci sont fort rigides) sur le collecteur, également mesurée, était de 0,8 à 1 kg., soit de 0,9 kg. Le diamètre du collecteur est de 16 mm. (c'est par erreur que nous avons compté 18 mm. antérieurement), et le diamètre des tourillons de 7 mm.

Le collecteur était plus ou moins graissé par les projections d'huile.

Admettons qu'il existe, entre les coefficients de frottement du collecteur et ceux des tourillons, le rapport 2. Ce rapport n'est pas exagéré, car le graissage intermittent des tourillons a pu être soigné pendant les essais en génératrice, et les vitesses linéaires des surfaces frottantes sont très différentes (dans un rapport qui dépasse 2).

La puissance dépensée pour frottements mécaniques s'établit par la formule :

$$p_f = 6 \times f \times 0{,}007 \times 3{,}14 \times N \times 9{,}81 + 0{,}9 \times 2f \times 0{,}016 \times 3{,}14 \times N \times 9{,}81 \text{ watts.}$$

$$p_f = 2{,}2\, fN.$$

Son application donne :

N' =	4 600	4 970	5 270	5 720	5 970	tours p. m.;
N =	77	83	88	95	100	tours p. s.;
vitesse linéaire =	1,7	1,82	1,93	2,08	2,2	mètres p. s. (tourillons);
id. =	3,87	4,2	4,42	4,8	5,05	id. (collecteur);
$f = \frac{p_f}{2{,}2\,N} =$	0,09	0,137	0,17	0,2	0,207.	

La pression moyenne des tourillons sur les paliers était de 4,6 et 0,6 kg. par cm^2.

Essai en génératrice à vitesse constante. — Le relevé a été fait à 5 000 tours.

Des calculs analogues aux précédents donnent même résultat pour la vitesse considérée.

Essai en moteur sous courant constant et sous voltage constant. — Les calculs, avec évaluation approximative des pertes par hystérésis et courants de Foucault, nous ont donné, en appliquant la formule ci-dessus dans laquelle la pression sur les paliers devient 1,2 kg. (poids de l'anneau et du frein) :

Sous courant constant,

N' =	1 100	1 300	2 000	3 200	4 300	4 600	5 000	5 550	6 500	tours p. m.;
f =	0,37	0,36	0,36	0,32	0,24	0,25	0,253	0,29	0,29;	

sous voltage constant,

N' =	1 100	1 300	2 000	2 650	3 700	6 500	tours p. m.;
f =	0,65	0,56	0,53	0,5	0,29	0,29.	

Dans ces deux derniers essais, la pression par cm^2 sur les paliers était au maximum de 0,6 kg.

Les nombres qui précèdent ne constituent évidemment que des moyennes approchées, mais ils suffisent pour l'application dans des

cas identiques puisque, en réalité, le frottement varie à chaque instant avec l'état des surfaces en contact et la fréquence du graissage.

Lors des essais en moteur, l'opérateur chargé de la conduite du frein n'a pu graisser assez souvent le moteur. Pour les essais en génératrice, on peut admettre que le graissage par intermittence était pratiqué dans de bonnes conditions.

Il résulte des expériences que les coefficients de frottement pour la marche en génératrice, pour laquelle la pression sur les paliers était cependant la plus forte, sont les moins élevés et qu'ils augmentent avec la vitesse. C'est ce que nous avons observé dans d'autres circonstances chaque fois que le graissage a été continu ou sensiblement continu.

Aux grandes vitesses, il semble que l'huile reste moins longtemps entre les surfaces frottantes, et que là est la cause de l'augmentation trouvée. Ce fait se comprendra d'autant mieux ici qu'il existe un léger jeu entre les tourillons et leurs supports.

Dans la marche en moteur, les coefficients sont plus élevés et ils vont en diminuant, tout au moins, semble-t-il, jusque vers 4 000 tours par minute. Vers 6 500 tours, ils sont sensiblement égaux à ceux du fonctionnement en génératrice.

Nous terminerons ici nos observations sur les frottements mécaniques en faisant remarquer que le graissage n'a malheureusement pas été méthodique (c'est du reste un défaut général des toutes petites machines) parce que : 1° le nombre d'opérateurs était insuffisant ; 2° nous ne comptions pas pousser si loin nos investigations; 3° nous exécuterons sous peu des expériences plus générales et plus étendues sur ce sujet.

PERTES DE FLUX

La machine étant très ramassée, l'entrefer grand et la section des inducteurs un peu faible, on doit prévoir que les pertes de flux sont fortes.

Voici les coefficients de flux total v (rapport du flux des inducteurs au flux de l'induit) que nous avons relevés par la méthode balistique.

Courant d'excitation des inducteurs (induit ouvert) :	4	6,6	9,05	12,05 ampères;
Flux dans l'induit.	42 000	68 300	89 700	102 200
Coefficient ν	2,5	2,55	2,6	2,74

Comme on le voit, les valeurs en sont élevées.

CONCLUSIONS

L'examen des tableaux I à IV justifie pleinement l'indication de 20 à 35 watts pour la puissance utile que l'on peut tirer pratiquement de la machine.

Le rendement de transformation est le plus intéressant à connaître des trois rendements parce que le rendement électrique dépend surtout de la section des conducteurs dans une dynamo dont la carcasse est bien proportionnée. En moteur, ce rendement est de 35 à 55 p. 100 pour les régimes pratiques, alors que le rendement électrique, vers 4 000 tours, varie de 60 à 70 p. 100 et le rendement total de 24 à 33 p. 100. En doublant la section des fils des inducteurs, on gagnerait environ 10 p. 100 sur le rendement électrique et le rendement total oscillerait entre 28 et 38 p. 100.

En génératrice le rendement total, pour les régimes stables, varie de 12 à 28 p. 100. C'est encore le rendement électrique qui fait défaut : en doublant la section des fils des inducteurs, on atteindrait des rendements totaux variant de 35 à 42 p. 100 environ.

Le coefficient de frottement des tourillons, pour un graissage intermittent soigné, peut être évalué à 0,12 vers 4 000 tours (vitesse linéaire des surfaces frottantes, 1,5 m.) lorsque l'on compte le double pour les balais.

MOTEUR DE 60 A 75 WATTS

Ce moteur est aussi du type Manchester, à carcasse en fonte, avec fil de 1,3 mm² de sec-

tion et les deux inducteurs réunis en quantité. La résistance des inducteurs est de 1,2 ohm, celle de l'induit 0,7 ohm et au total 1,9 ohm.

Nous n'avons pu faire qu'un seul essai, en moteur série, sous courant constant. Les résultats sont consignés dans le tableau V.

TABLEAU V. — ESSAI EN MOTEUR SÉRIE SOUS COURANT CONSTANT.

Puissance totale fournie aux bornes			Perte par effet Joule Ri^2	Puissance électrique nette fournie $P_r = ei$	Rendement électrique $R_e = \frac{P_r}{P_t}$	Puissance utile P_u recueillie au frein				Rendement de transformation R_t	Rendement total ou net R_n	Nombre de tours par minute	Perte ohmique Ri	Voltage effectif e	Observations
volts E	ampères i	watts P_t				bras de levier	charge	kilogrammètres	watts						
17	6	102	68,5	33,5	0,33	0,2 m.	0,155 k.	1,94	19	0,57	0,19	600	11,4	5,6	
24,2	—	145,2	—	76,7	0,53	—	0,155	4,5	44	0,57	0,30	1 400	—	12,8	
32	—	192	—	123,5	0,64	—	0,145	7	69	0,57	0,36	2 280	—	20,6	
40	—	240	—	171,5	0,71	—	0,115	7,6	75	0,54	0,31	3 160	—	28,6	

On voit que les rendements sont du même ordre de grandeur que ceux du moteur précédent. Le rendement de transformation est voisin de 55 p. 100, comme au premier, et le rendement total maximum, qui est de 36 p. 100, pourrait atteindre 41 à 42 p. 100 en doublant la section du fil des inducteurs laquelle est trop faible.

Essayons de déterminer quelques coefficients de frottement. Nous avons :

$N' =$	600	1 400	2 280	3 160	tours p. min.;
$N =$	10	23,3	38	53	tours p. s.;
$p_f + p_h + p_F =$	14,5	32,7	54,5	96,5	watts.

La pression des balais sur le collecteur est de 1 kg.; l'induit avec sa poulie et le frein chargé pèse 3,45 kg. environ; les diamètres des tourillons et du collecteur sont 10 et 45 mm.; le rapport des coefficients de frottement au collecteur et aux tourillons est encore supposé égal à 2; le graissage est opéré par intermittence.

$$p_f = 3,45 \times f \times 3,14 \times 0,01 \times N \times 9,81 + 1 \times 2f \times 3,14 \times 0,045 \times N \times 9,81 \text{ watts.}$$

$$p_f = 1,07\, fN + 2,77\, fN = 3,84\, fN.$$

En comptant sur 12,5 et 70 watts pour puissance absorbée par frottement à 600 et 3 160 tours, la formule donne

$$f = 0,32 \quad \text{et} \quad 0,34.$$

Ces nombres sont dans les limites de ceux déterminés à même vitesse pour le moteur de 20 à 35 watts.

S. HANAPPE.

CHEMINS DE FER ET TRAMWAYS ÉLECTRIQUES[1]

Dives. — Chauffage électrique. — Appareils de sécurité.

M. Ph. Dawson, dans un des derniers chapitres de sa remarquable étude sur la traction électrique[1] s'occupe du chauffage électrique des voitures de tramways, et cite à ce propos quelques chiffres peu connus qu'il est intéressant de retenir.

Les Américains du Nord attachent une grande importance au chauffage de leurs voitures de tramways, ce qui se comprend, les hivers dans ces contrées étant particulièrement rigoureux. La méthode la plus ré-

(1) Voir l'*Eclairage Electrique* du 13 juillet, p. 49, du 27 juillet, p. 145 et du 31 août, p. 391.

(1) *Engineering*, 5 juillet 1895, p. 7.

pandue consiste à placer dans la voiture un petit poêle d'un modèle particulier qui peut se monter sur une des banquettes où il occupe, généralement vers le milieu de la longueur, la place d'un voyageur. Un poêle de ce genre y compris la mise en place, coûte environ 100 francs; son entretien revient à peu près à 25 p. 100 du prix d'achat; il brûle environ 16 kg. d'anthracite par jour; l'ensemble des frais est de 0 fr. 85 par journée de 18 heures. Ce mode de chauffage présente de nombreux inconvénients ; le poêle est une source de dangers; plusieurs accidents graves n'ont pas eu d'autre cause. Il est surtout très difficile de régler et de répartir convenablement la température; les personnes placées près du foyer ou immédiatement en face ont trop chaud tandis que celles qui sont placées aux extrémités ont froid. Le chauffage électrique permet de supprimer ces inconvénients; mais, par contre il revient plus cher lorsqu'il faut lutter contre une température très basse. Dans nos contrées, plus tempérées, il est probable que les prix de revient des deux systèmes compareraient favorablement, par suite de la facilité avec laquelle on peut régler à volonté la quantité d'énergie consommée dans les radiateurs et même supprimer complètement le courant quand il convient, à la fois par raison d'économie et de confort. Les radiateurs devraient avoir une surface d'émission aussi grande que possible et ils seraient placés très près des portes des voitures.

Le tableau suivant donne le résultat des essais faits par la Compagnie des tramways électriques d'Atlantic Avenue, à Brooklyn au commencement de 1894.

Si l'on tient compte que le courant électrique peut ne pas être lancé continuellement dans les radiateurs, probablement un tiers seulement du courant total indiqué dans le tableau ci-dessus serait nécessaire, en moyenne pendant la journée. En supposant que le prix du courant soit de 15 cent. par kilowatt-heure, le chauffage électrique reviendrait à moins que 10 cent. par heure et par voiture.

La Central Electric Heating Company, de New-York, a fait aussi une série d'essais intéressants sur la puissance nécessaire pour actionner les radiateurs dans différentes conditions. Sur le North Chicago Railway, les radiateurs avec un courant de 481 volts et 8,8 ampères, soit 4 233 watts ont élevé en deux heures, la température de 25° C. Sur la ligne

TABLEAU MONTRANT LA QUANTITÉ D'ÉNERGIE ÉLECTRIQUE DÉPENSÉE POUR LE CHAUFFAGE ÉLECTRIQUE DES VOITURES DE TRAMWAYS.

VOITURES			TEMPÉRATURE		ÉNERGIE électrique en watts
portes	fenêtres	capacité en m³	extérieure	intérieure	
2	12	24	— 2	+ 13	2 295
2	12	24	— 14	+ 4	2 325
2	12	23	— 2	+ 10	2 180
2	12	26	+ 2	+ 11	2 745
4	16	29	— 14	+ 8	3 038
4	16	29	— 2	+ 12 1/2	3 160

de Buffalo, les essais ont été faits avec une voiture de 6 m. 40 de longueur. La température, au début était de — 2° 1/4 C. Après 20 minutes, avec un courant de 500 volts et 4 ampères, la température était de + 9° C; 20 minutes après, avec six radiateurs en service et une intensité double, la température était de 18° 1/3 C. Enfin, une heure après le début des expériences, la température atteignait 23° C. environ.

La figure 104 représente le rhéostat des radiateurs employés dans ces dernières expériences.

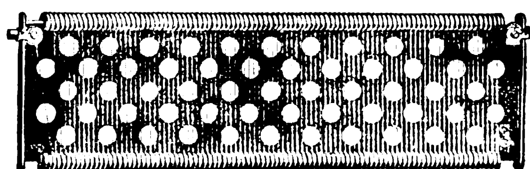


Fig. 104.
Rhéostat des radiateurs de la Central Heating C°.

Il est placé dans une boîte métallique à claire-voie et celle-ci peut être fixée sur le parquet ou suspendue sous les sièges; dans un cas comme dans l'autre l'installation peut se faire rapidement, sans détériorer la voiture et l'appareil n'occupe aucune place utile.

M. *J.-W. Darley* a imaginé un indicateur de vitesse pour tramways électriques.

Cet appareil est branché en dérivation sur le circuit des lampes; il comprend une sonnerie et un indicateur visuel; ces deux organes

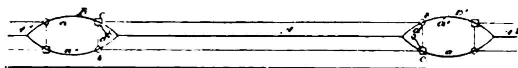


Fig. 105. — Block-système, W.-F. Lewis pour tramways électriques. Schéma des circuits.

sont actionnés par une roue auxiliaire roulant sur les rails et qui commande par un petit régulateur à force centrifuge, deux contacts au moyen desquels le circuit est fermé lorsque la vitesse de la voiture dépasse les limites autorisées, soit 6 milles à l'heure (10 kilomètres), dans le centre des villes et 9 milles (15 kilomètres) à l'heure dans les faubourgs. Lorsque la vitesse-limite est atteinte le contact est fait et la sonnerie retentit et l'indicateur visuel indique que la voiture marche à une allure exagérée; on espère que le mécanicien étant averti modérera la vitesse de la voiture pour se conformer aux règlements de police, et que les accidents, dus pour la majeure partie, à la trop grande rapidité des voitures, pourront être évités.

Le frein électrique *Elmer.-H. Sperry*, qui est en service sur les voitures de la ligne de la 22e rue, à Chicago, a, paraît-il donné d'excellents résultats.

Le frein pour voitures motrices consiste en

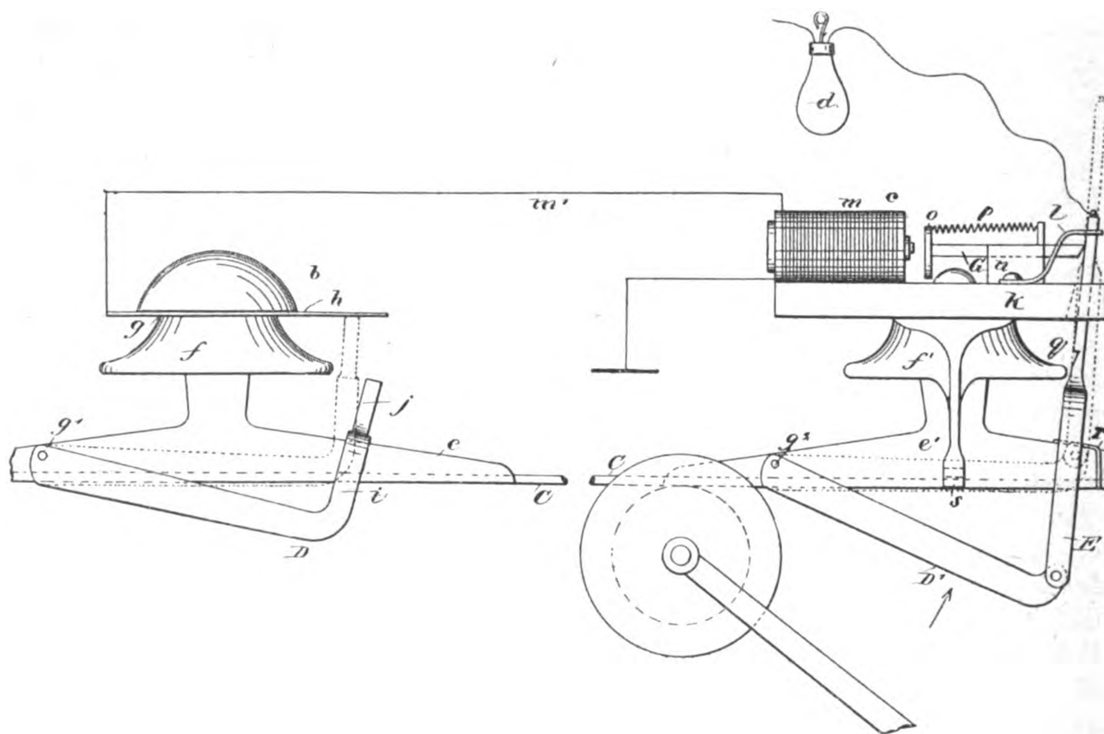


Fig. 106. — Block-système Lewis pour tramways électriques. Détail du contact et du déclancheur.

un disque annulaire en fonte de fer, à l'intérieur duquel est placée une bobine magnétisante; ce disque est muni sur le côté d'une gorge qui, après l'insertion de la bobine, est fermée par un couvercle du même métal. Cette surface est ensuite polie. Les roues portent également à l'intérieur une surface plate polie au tour. Le disque est fendu au sommet afin de pouvoir être placé sur l'axe sans ôter les roues; il est suspendu au truck de façon que le côté poli soit

contre la roue ; cette suspension est faite, d'un côté par un maillon et de l'autre par un bras guidé entre deux tiges fixées sur le truck ; la pesanteur empêche ce disque de frotter contre la roue. L'ajustement du disque par rapport à la roue se fait au moyen d'un collier fendu sur l'axe ; le disque est placé à environ 0,4 mm. de la roue. Un balai sur le disque maintient la propreté des surfaces finies.

La bobine magnétisante du disque est reliée au contrôleur de telle façon que lorsque le courant est coupé des moteurs, il suffit de le mettre au cran suivant pour mettre cette bobine en série avec le moteur qui, agissant comme générateur, magnétise le disque qui retient alors la roue. La force du courant est réglée par la même résistance qui est employée pour le démarrage. En supprimant toute la résistance, l'action est si énergique que le mouvement de rotation des roues est brusquement arrêté pour un instant ; il n'en résulte pourtant aucun glissement, car si les roues s'arrêtent complètement le moteur ne fournit plus de courant et le frein cesse d'agir.

Avec ce frein, aucun courant supplémentaire n'est nécessaire ; la puissance vive de la voiture en marche est utilisée pour le freinage. Deux freins sont employés sur chaque voiture.

L'usage des lignes à une seule voie peut être une source de délais ou d'accidents préjudiciables. Nous avons déjà signalé [1] un dispositif assez simple dû à M. G. Matthews et employé sur la ligne de Denver. M. *Willard Francis Lewis* s'est occupé de la même question et propose l'emploi du block-système suivant, plus compliqué.

La ligne est représentée en A^1, A, A^2 (fig. 105) et les évitements en B et B'; sur chacune des voies *a* et *a'* de chaque évitement se trouvent un contact *b* et un déclancheur *c* ; le contact *b* de chaque garage est relié électriquement au déclancheur *c* du garage suivant dans le sens du mouvement des voitures qui passent sur l'aiguillage correspondant.

[1] L'*Eclairage Electrique*, n° 4, t. II, du 26 janvier 1895, p. 174.

Supposons qu'une voiture vienne de la section A' et s'engage dans la section A, par l'aiguillage *a'*. Lorsqu'elle sera parvenue en *b* (fig. 105 et 106), la roue du trôlet poussera le bras D, articulé en *g'* sur la suspension du fil à trôlet C, et le fera venir en contact en *j* avec

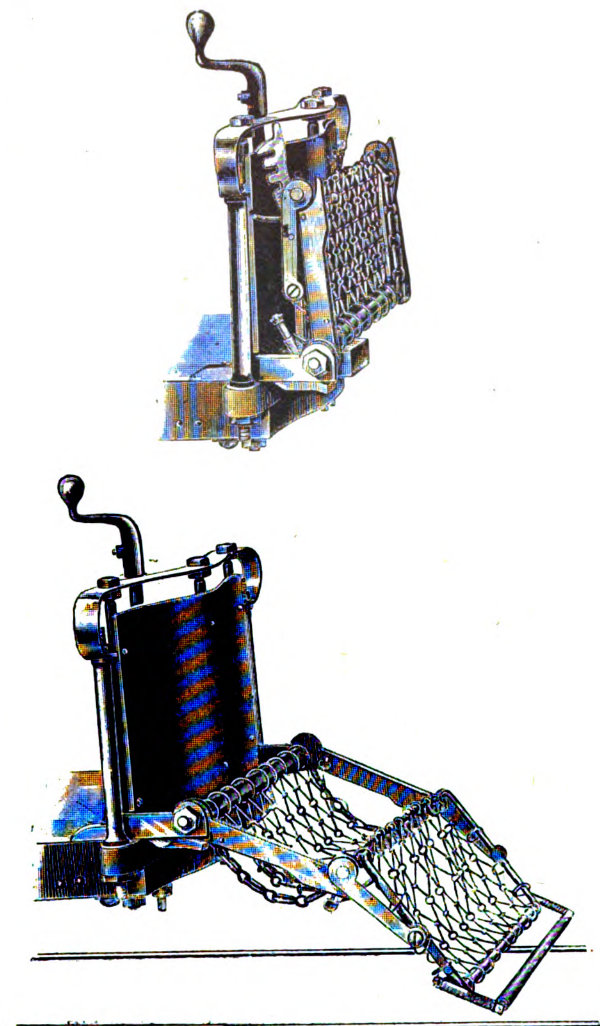


Fig. 107 et 108. — Protecteur Edwards, replié, et prêt à servir.

le ressort *h* qui communique par le fil *m'* avec l'électro-aimant *m* du déclancheur suivant *c*. Lorsque la voiture a passé, le bras D retombe par son propre poids ; le courant ne passe donc qu'un instant.

Le signal *c* se compose d'un bras D', articulé en g^2, mais isolé électriquement du fil à trôlet,

et qui porte à son extrémité opposée, un bras E dont l'extrémité supérieure porte une encoche qui s'engage dans le loquet G, comme il est indiqué en pointillé. Le bras E est en contact avec une lampe *d*, par un fil conducteur. Lorsque le courant passe dans l'électro-aimant *m*, celui-ci attire son armature O qui dégage le bras E ; celui-ci fait alors contact en *r* avec le fil à trôlet et la lampe s'allume, avertissant ainsi le mécanicien d'une voiture qui viendrait en A^2 que la voie A est occupée. Lorsque la première voiture arrive en B', sur l'aiguillage *a*, la roue du trôlet repousse le bras D' jusqu'à ce que E soit enclanché en G *q*, ce qui a pour effet de supprimer le contact en *r* et d'éteindre la lampe, ce qui indique que la voie est libre.

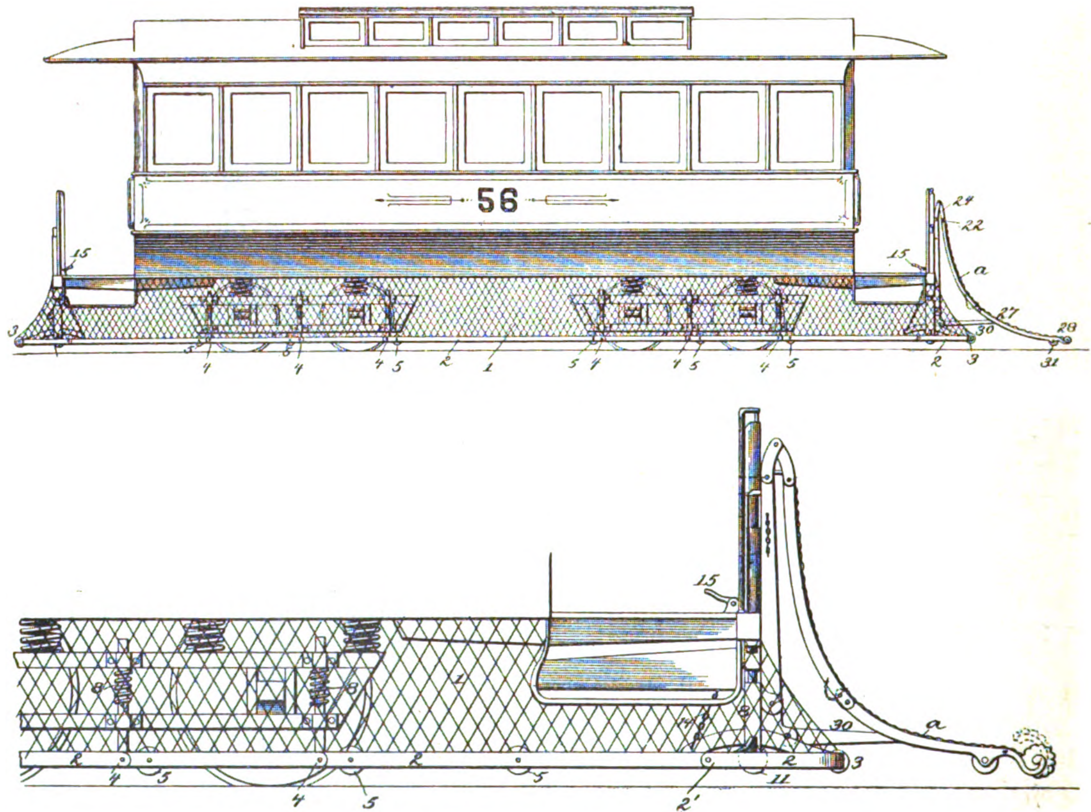


Fig. 109 et 110. — Protecteur T.-H. Homan.

Il est évident que l'on peut adjoindre à la lampe un sémaphore manœuvré par la tige E, ce qui est préférable pour le service du jour. Si la lampe correspondant, dans le garage B', à la section A^2, est éteinte, la voiture continue son chemin et produit sur des appareils identiques aux précédents, les mêmes effets. Ce système est très imparfait ; si, par exemple, deux voitures se suivant, sont engagées sur la voie A, la première, en B', éteindra la lampe, indiquant que la voie est libre, tandis qu'en réalité une autre voiture y sera encore engagée.

Nous avons déjà signalé ces curieux appareils connus en Amérique sous le nom de *feeders* (protecteurs) ; on sait que leur mission est de ramasser tout objet, vivant ou inerte, qui se trouve devant la voiture en marche. La vitesse croissante des voitures, résultat de l'emploi de la traction électrique ou funiculaire, a rendu leur emploi à peu près indispensable et les assemblées législatives de certains États ont, par décret, ordonné que chaque voiture en soit munie. Aussi, les inventeurs sont-ils légion. Le protecteur *Edwards* (fig. 107 et 108) ne diffère

de la plupart des appareils du même genre que par la souplesse que lui confère son cadre articulé, ce qui lui permet de rester toujours au ras du sol en dépit des oscillations de la voiture. En temps ordinaire, l'appareil est relevé le long de la voiture afin de ne pas entraver la circulation. En cas de danger, le mécanicien le fait tomber par un simple mouvement.

Dans le protecteur *F.-H. Homan* (fig. 109, 110 et 111), tout le bas de la voiture est muni

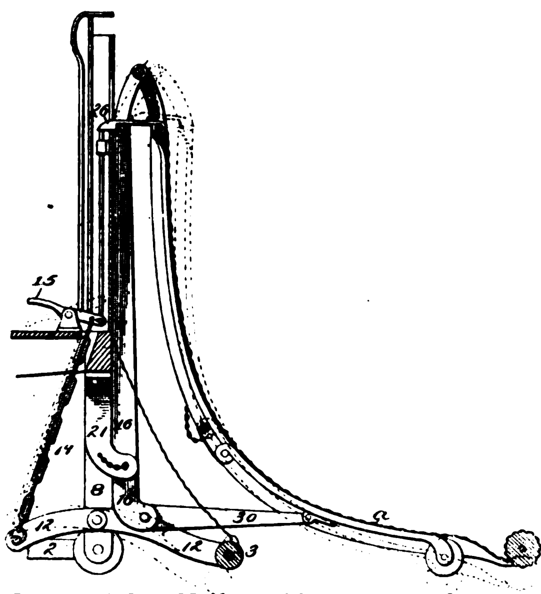


Fig. 111. — Protecteur F.-H. Homan.

d'un filet en fils de métal qui est tendu vers le bas par un cadre métallique formé de tiges 2 articulées en 4, 4; des ressorts B les poussent presque au contact du sol. Si une personne se trouvait renversée sur la voie, le mécanicien, en appuyant sur la pédale 15, abaisserait par la chaîne 14 et le levier 12, articulé en 8, le filet d'avant au niveau du sol où les roues 3 lui facilitent le mouvement. La victime serait repoussée soit en avant, soit sur les côtés de la voiture, mais ne pourrait passer sous les roues. Pour éviter les accidents qui pourraient résulter de ce traînage, M. F.-H. Homan place à l'avant un ramasseur *a* qui se dégage, par la même pédale 15, au moyen d'un loquet 26 et qui se met automatiquement en position au moyen des ressorts.



Fig. 112. — Protecteur Leonhardt à tampon pneumatique.

Afin d'amortir le choc le pourtour du protecteur *Léohnhardt* (fig. 112) est muni de tubes pneumatiques en caoutchouc, analogues aux « pneus » des bicyclettes, mais de plus fortes dimensions.

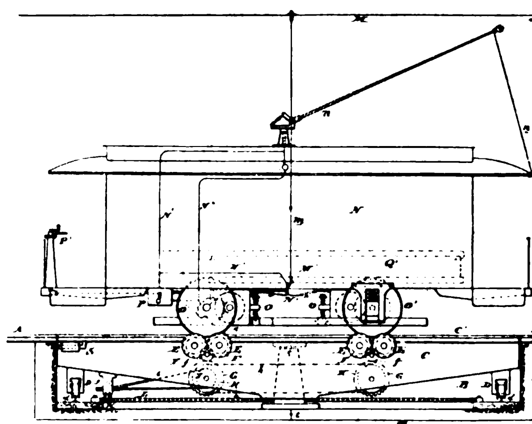


Fig. 113. — Table tournante R.-M. Hunter, à manœuvre électrique.

M. *R.-T. Hunter*, afin de faciliter la manœuvre des voitures à l'extrémité des lignes ou dans les dépôts, emploie les moteurs électriques de la voiture elle-même à la manœuvre des tables tournantes.

Pour cela, celles-ci sont munies de roues de

frottement E (fig. 113) qui sont mises en mouvement par les roues motrices de la voiture. Lorsque cette dernière est amenée en place sur la table tournante, les roues E, au moyen d'un train d'engrenages et de chaînes de transmission, attaquent la roue J dont le pignon K engrène avec la crémaillère circulaire fixe L. Au moment de la manœuvre, le trôlet *n* est abaissé et le conducteur flexible *m* établit en M' la communication avec le conducteur aérien.

G. PELLISSIER.

VARIATIONS DU DIAPASON

DANS UN CHAMP MAGNÉTIQUE

De nombreuses expériences ont mis en évidence l'influence de l'aimantation sur les propriétés élastiques des corps magnétiques. Ces propriétés interviennent dans la loi des vibrations transversales des barres : j'ai donc cherché comment est modifiée la période de vibration d'un diapason lorsqu'on le place dans un champ magnétique. Les variations observées dépendent de l'orientation du diapason dans le champ.

Disposition des expériences. — J'ai opéré en plaçant le diapason de trois façons différentes dans le champ. Dans les deux premières dispositions, l'axe de symétrie du diapason était perpendiculaire au champ, le plan des branches se trouvant dans un cas parallèle, et, dans l'autre perpendiculaire aux lignes de force. Les vibrations s'effectuaient ainsi parallèlement, puis perpendiculairement au champ; celui-ci était produit par un électro-aimant de Ruhmkorff. Dans la troisième série d'expériences, l'axe du diapason était parallèle aux lignes de force, et alors l'orientation du plan des branches était indifférente. Le mode d'inscription dont je me servais ne m'a pas permis d'employer dans ce cas l'électro-aimant; le champ était produit au moyen d'une bobine de 8 couches de fil, à l'intérieur de laquelle était le diapason, l'extrémité des branches dépassant seulement pour qu'on pût le mettre en vibration.

Les vibrations étaient comparées par inscription à celles d'un diapason placé en dehors du champ. A l'un et à l'autre étaient fixés respectivement deux styles de roseau, qui venaient s'appuyer sur un cylindre enregistreur. On pouvait découper la feuille de papier placée sur le cylindre et compter avec précision les nombres de vibrations des deux diapasons comprises entre deux génératrices. Il est bon de ne compter les vibrations qu'à une certaine distance de leur origine, pour être sûr de leur isochronisme. Lorsqu'il s'agit d'un diapason, cet isochronisme est assez rapidement atteint, mais il n'en est pas de même dans le cas d'une barre métallique vibrant transversalement, tout au moins quand elle est mise en mouvement au moyen d'un archet.

On mettait les diapasons en vibration en passant à force entre leurs branches de petits morceaux de bois un peu plus gros que l'intervalle des branches.

Résultats. — Ils sont donnés par les courbes figurées, dans lesquelles les ordonnées représentent, en dix-millièmes, l'écart relatif entre les nombres de vibrations dans un champ nul et dans le champ considéré. Dans les deux premières courbes, les abscisses donnent, en ampères, les valeurs du courant passant dans les bobines de l'électro-aimant. Dans la troisième, elles représentent l'intensité du champ à l'intérieur de la bobine, en unités C. G. S. Les deux dernières courbes ont des ordonnées cinq fois plus grandes que celles de la première : si on les avait tracées à la même échelle, il aurait été difficile d'indiquer nettement leur forme, les variations observées étant beaucoup moins considérables que dans les premier cas.

1° *Axe perpendiculaire et plan de vibration parallèle au champ.* — Le nombre de vibrations *diminue* à mesure que le champ augmente, cette diminution atteignant 3,8 p. 100 pour le champ le plus élevé, qui est d'environ 6 350 unités C. G. S. De plus, j'ai con-

staté un effet d'hystérésis bien marqué : en faisant parcourir au courant un cycle fermé, la diminution du nombre de vibrations, pour une même intensité, était plus grande au retour qu'à l'aller. Ainsi la partie supérieure de la courbe de la figure 1 correspond aux expériences qui étaient faites en portant d'abord le

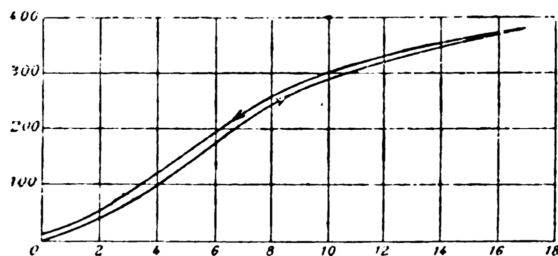


Fig. 1.

courant à son maximum, puis en le ramenant à l'intensité convenable, tandis que la partie inférieure représente les résultats obtenus en partant de o et en faisant croître progressivement le courant jusqu'à l'intensité voulue.

Cet effet n'est probablement pas dû au diapason lui-même, les vibrations devant empêcher tout retard d'aimantation. Il pouvait provenir de deux causes : 1° d'un retard dans l'action du champ sur l'élasticité de l'acier. 2° de ce que le champ produit par un électro-

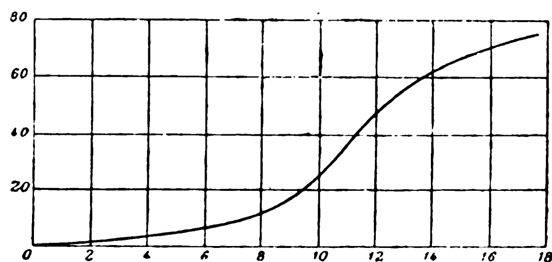


Fig. 2.

aimant où le courant parcourt un cycle fermé n'est pas le même à l'aller qu'au retour.

Je n'ai pas pu constater d'effet semblable dans les deux autres séries d'expériences, parce que l'influence du champ sur le nombre de vibrations étant alors plus faible, la différence des nombres trouvés dans les deux parties du cycle était trop petite pour donner des résultats nets.

2° *Axe et plan de vibration perpendiculaires au champ.* — Ici le nombre de vibrations *augmente* avec le champ, cette augmentation atteignant environ 0,75 p. 100 dans un champ de 6 530 unités C. G. S. L'augmentation observée dans ce cas n'est donc guère que la cinquième partie de la diminution observée dans le cas précédent.

3° *Axe parallèle au champ.* — Le nombre de vibrations *augmente* également avec le champ, et cette augmentation est déjà de 0,38 p. 100 pour un champ de 1 090 unités C. G. S., le plus élevé qu'il m'ait été possible d'employer sans trop échauffer la bobine magnétisante, c'est-à-dire à peu près de même importance que la diminution observée dans le premier cas pour une même valeur du champ.

Chacun des points au moyen desquels ont été construites les courbes précédentes repré-

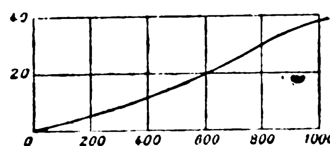


Fig. 3.

sente la moyenne des résultats de plusieurs mesures, trois au moins, les écarts entre ces résultats étant d'ailleurs très faibles : la précision obtenue dans chaque mesure n'était en effet limitée que par l'erreur commise sur les fractions de vibration qui terminaient les parties comparées des courbes des deux diapasons ; or on comptait un très grand nombre de vibrations (5 ou 600), de sorte que la petite erreur commise n'avait qu'une très faible importance.

Les vibrations s'amortissent d'autant plus rapidement que le champ est plus intense ; cet amortissement est dû, au moins pour la plus grande part, aux courants de Foucault produits, qui tendent à s'opposer au mouvement des branches du diapason dans le champ.

Il importe de remarquer que, dans les expériences précédentes, la valeur du champ à l'intérieur des branches du diapason, de la-

quelle dépend en somme le phénomène, ne pourrait être connue qu'en tenant compte de la force démagnétisante due au magnétisme induit.

Vibrations d'une barre de laiton. — J'ai cherché si une action du même genre que celle exercée par l'acier se produirait sur un métal non magnétique.

Pour cela j'ai étudié les vibrations transversales d'une barre de laiton placée à l'intérieur de la bobine magnétisante, en les comparant par inscription aux vibrations du diapason de comparaison qui servait dans les expériences précédentes. La barre était mise en mouvement au moyen d'un archet enduit de colophane. Les premières vibrations avaient une amplitude considérable, et il fallait avoir soin de ne commencer la lecture des vibrations qu'en un point où leur amplitude était devenue sensiblement constante. Il m'a été impossible de déceler aucune influence du champ magnétique, les différences entre les nombres observés étant très petites, et de l'ordre des erreurs d'expérience.

MAURAIN
Agrégé préparateur au Collège de France.

LA TRANSFORMATION
DU CARBONE EN GRAPHITE
LES FOURS ÉLECTRIQUES GIRARD ET STREET

De nombreuses expériences et surtout celles de M. Moissan [1] sur le four électrique ont établi que le graphite est la variété de carbone stable à haute température, c'est-à-dire que toute autre variété de carbone, amorphe ou cristallisée, naturelle ou artificielle peut être transformée en graphite sous l'influence d'une température suffisamment élevée, température que l'on obtient facilement aujourd'hui, par l'emploi des fours électriques.

Ce résultat de recherches purement scientifiques, présente une importance industrielle considérable. En effet, la transformation en graphite des charbons artificiels que l'on fabrique en grande quantité pour l'éclairage, l'électrolyse et la confection des balais de dynamos, ne peut qu'augmenter l'homogénéité, la conductibilité électrique et la résistance aux agents chimiques de ces charbons et, par conséquent, les rendre plus aptes aux usages auxquels ils sont destinés.

Mais pour réaliser pratiquement cette transformation, il fallait imaginer des appareils à production continue, ne demandant qu'une dépense d'énergie nécessairement assez faible afin que l'augmentation de prix des charbons ainsi transformés ne soit pas hors de proportion avec l'accroissement de leurs qualités. MM. Girard et Street, ingénieurs de la Société « Le Carbone », sont parvenus à surmonter ces difficultés ; ils ont imaginé diverses formes de fours électriques destinées, pour la plupart, à la transformation des charbons artificiels en graphite, mais dont quelques-unes peuvent être employées à d'autres usages.

La figure 1 représente l'un de ces fours, partie en coupe, partie en élévation. Ce four est constitué par un bloc en matière réfractaire *a*, en une ou plusieurs parties maintenues par une enveloppe métallique extérieure *b*. Au centre du bloc réfractaire se trouve une cavité *c*, dont les parois sont garnies d'une ou plusieurs pièces de charbon, et qui constitue la chambre de chauffe proprement dite. A cette chambre de chauffe viennent aboutir un orifice recevant un charbon *d* et un couloir ou canal, qui traverse la matière réfractaire d'outre en outre, et dans lequel est introduite la barre *e* soumise au traitement. Cette barre est, au moyen de galets actionnés par un moteur électrique, animée d'un mouvement de translation qui lui fait traverser le four et la chambre de chauffe avec une vitesse dépendant nécessairement de la masse de cette barre et de la température à laquelle on désire la porter.

[1] MOISSAN. *Comptes rendus*, t. CXIX p. 976 (10 décembre 1894) et CX, p. 17 (7 janvier 1895).

Le circuit est constitué par la pièce à chauffer *e* d'une part, et par le charbon *d* d'autre part. L'arc jaillit entre ces deux électrodes et porte successivement tous les points d'une génératrice de la pièce à chauffer à une température très élevée. On peut d'ailleurs utiliser

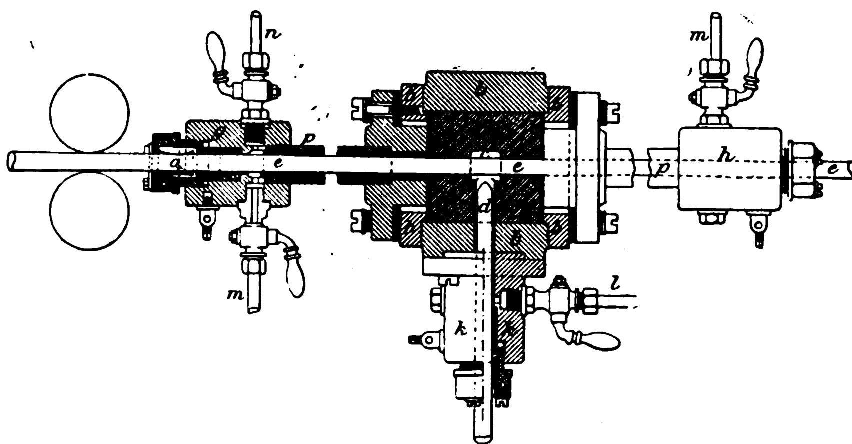


Fig. 1. — Four électrique Girard et Street, pour le chauffage des tiges, barres ou fils.

deux arcs et chauffer en même temps deux génératrices en disposant un nouveau charbon symétriquement à *d*.

Pour certaines expériences il peut être utile de placer la pièce à chauffer dans une atmosphère gazeuse autre que l'air. Dans ce but cette pièce traverse des presse-étoupes *g* et *h* à l'entrée et à la sortie du four. Le charbon *d* traverse également un presse-étoupe *k*. Sur les montures de ces presse-étoupes *h* et *k* sont fixés des tubes *m* et *l* munis de robinets servant à l'entrée et à la sortie des gaz et un tube *n* communiquant avec un manomètre.

Lorsque la matière que l'on désire porter à une haute température est pulvérulente, on la met dans un tube cylindrique que l'on introduit dans le four précédent à la place de la barre *e*.

On peut d'ailleurs se dispenser de faire mouvoir le tube et utiliser l'action de la pesanteur pour mettre en mouvement la matière pulvérulente à traiter. Il suffit pour cela d'employer le four vertical que représente la figure 2. La matière pulvérulente arrive, par un tube *w*, dans un canal *t* fermé à sa partie supérieure par un couvercle *v*, traverse la chambre de chauffe constituée par un charbon tubulaire *r*, puis s'échappe du four par l'orifice *y*. La chambre est chauffée par deux arcs en série jaillissant, l'un entre le charbon *s* et le tube *r*, l'autre entre ce tube et le charbon *u*.

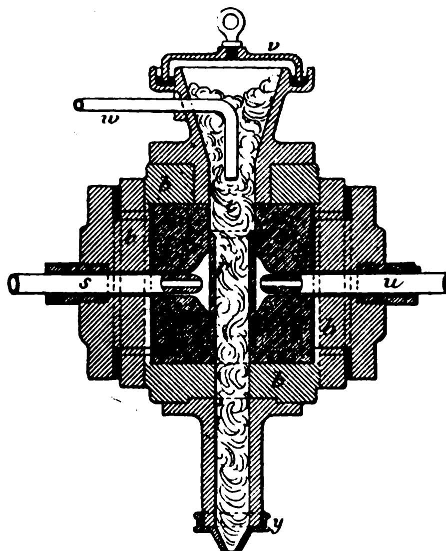


Fig. 2. — Four Girard et Street, pour le traitement des machines pulvérulentes.

Dans le cas où les matières sont fondues par leur passage dans la chambre de chauffe, la disposition précédente est un peu modifiée : la

chambre de chauffe aboutit à un creuset muni d'un orifice de coulée *z* (fig. 3).

Dans ces divers systèmes de fours la répartition de la température n'est pas uniforme; en

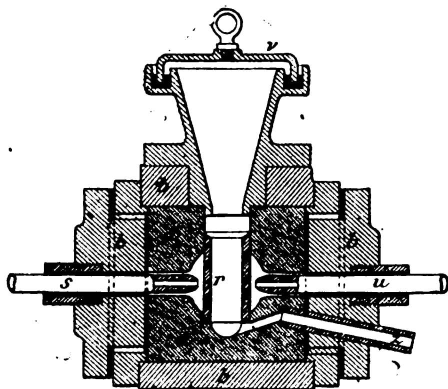


Fig. 3. — Four Girard et Street, pour le traitement des matières fusibles.

utilisant l'effet d'un champ magnétique sur l'arc, MM. Girard et Street ont pu faire tourner celui-ci autour de la pièce à chauffer et obtenir ainsi une répartition plus égale de l'action de l'arc.

La figure 4 montre la disposition adoptée pour réaliser cette rotation de l'arc dans le cas où la matière à traiter est sous forme de barre. L'arc se produit entre la barre *e* et la paroi interne de la cavité cylindrique creusée à la partie inférieure du charbon *s* (on peut disposer parallèlement plusieurs de ces charbons pour augmenter la longueur de la partie chauffée). Autour du four, dont l'enveloppe doit être alors en métal non magnétique, on enroule un fil métallique de manière à créer un champ magnétique parallèle à la barre par le passage d'un courant dans ce fil. Sous l'action de ce champ, l'arc tourne dans un plan perpendiculaire à l'axe de la barre. La combinaison de ce mouvement de rotation de l'arc et du mouvement de translation de la barre a pour résultat de faire toucher par l'arc tous les points de cette barre situés sur une hélice. La vitesse de rotation de l'arc dépendant de l'intensité du courant qui traverse ce dernier et de l'intensité du champ magnétique il est possible de régler cette vitesse de telle sorte que, tous les points de la barre soient successivement soumis à l'action de l'arc.

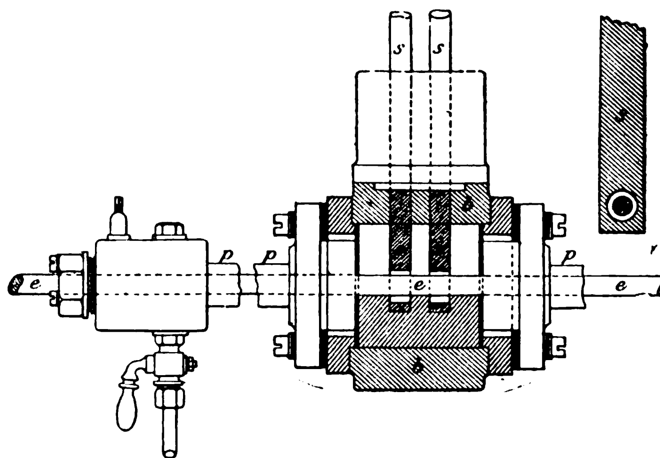


Fig. 4. — Four à arc tournant, pour le chauffage des barres.

Le même principe peut être appliqué au chauffage des creusets. La figure 5 représente une coupe du four destiné à cet usage. *v* est le creuset en charbon suspendu au centre même du four par son rebord qui repose sur un épaulement ménagé dans un bloc en charbon ***a***. Le bloc *a* est lui-même placé dans un logement ménagé dans un bloc en matière réfractaire ***g***, constitué par de la magnésie, de la silice ou d'autre matière convenable et reposant sur un

autre bloc en matière réfractaire *f*; une autre pièce de matière semblable *h* repose sur la partie supérieure des pièces *a* et *g*. Enfin, deux blocs en charbon *c* et *b* terminent l'ensemble de l'intérieur du four.

Toutes ces pièces sont logées à l'intérieur d'un tube métallique fermé à ses extrémités supérieure et inférieure par deux couvercles *j* et *j'*. Les blocs *c* et *f* sont percés d'un orifice qui permet le passage d'une électrode en charbon *e*, dont la forme a pour but d'envelopper

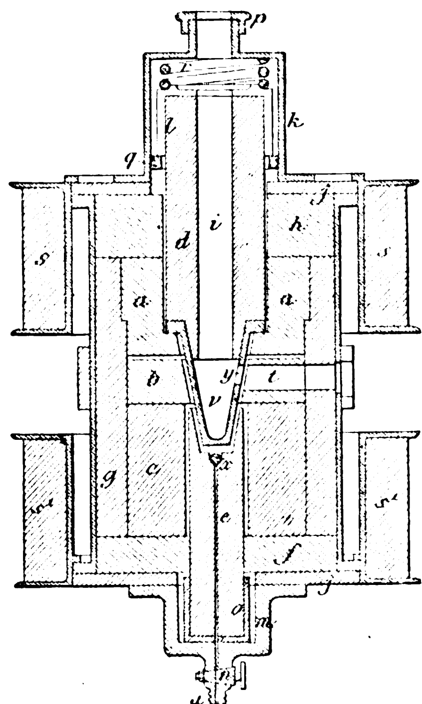


Fig. 5. — Four à arc tournant, pour le chauffage des creusets.

la partie inférieure du creuset *v*, sans toutefois y toucher en aucun point.

Le creuset *v* est appuyé sur son siège *a* au moyen d'un bouchon en charbon *d* qui est monté dans un porte-charbon *l*; ce dernier est placé dans une pièce *k* dans laquelle il est maintenu au moyen du ressort *r* et de la bague de butée *q*. La pièce *k* se monte à l'aide d'un joint à baïonnette sur le plateau supérieur *j*, et peut recevoir, à sa partie supérieure, un bouchon à vis *p* pouvant serrer une plaque de mica. Le bouchon *d* peut être percé en son centre d'un trou *i* permettant de suivre les réactions produites.

Si l'on met respectivement en communication le plateau supérieur et le plateau inférieur avec les deux pôles d'une source d'électricité, un arc jaillira entre le creuset et le charbon *e*. Pour obliger cet arc à tourner autour de la surface extérieure du creuset, deux solénoïdes *s* et *s'* sont disposés extérieurement à l'enveloppe métallique,

Le creuset est percé à une certaine hauteur d'un trou *y*, qui se trouve en regard d'un canal *t* percé dans les blocs *b* et *g* et dans le tube-enveloppe. Lorsque la matière introduite dans le creuset est fondue, par suite de la température élevée que l'on peut obtenir, on fait osciller tout le système autour d'un axe horizontal et la matière s'écoule et peut être recueillie sans avoir besoin d'interrompre la chauffe.

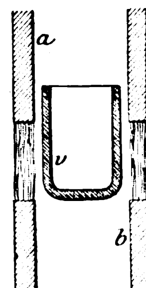


Fig. 6. — Dispositif pour le chauffage des creusets.

La figure 6 représente un dispositif plus simple pour le chauffage des creusets. Le creuset *v* est placé à l'intérieur de deux tubes de charbon *a* et *b*; l'arc jaillit entre les extrémités de ces tubes et tourne sous l'action d'un champ tournant obtenu avec des courants alternatifs biphasés.

Les fours que nous venons de décrire peuvent rendre dans les laboratoires de recherches des services nombreux sur lesquels il est presque inutile d'insister. Disons toutefois qu'avec le dernier modèle de chauffe-creusets décrit, MM. Girard et Street sont parvenus à fondre en quelques minute un culot de platine de 25 grammes et opérer la réduction des oxydes de manganèse, d'urane, de vanadium et

celle de l'acide tungstique, en employant un courant de 80 ampères et de 110 volts. Lorsque le creuset est au pôle négatif, les métaux obtenus par ces réductions sont fortement carburés, mais lorsque le creuset est au pôle positif et l'opération conduite avec certaines précautions, on obtient des métaux ne contenant que quelques traces de carbone.

Mais comme nous le disions en commençant, l'application la plus importante de ces fours, pour le moment, est la transformation en graphite des charbons artificiels. Aussi, les expériences de MM. Girard et Street ont-elles été surtout dirigées dans ce but.

Lors d'une visite que nous avons faite récemment au laboratoire de la Société « Le Carbone » nous avons pu voir quelques-uns des résultats de ces expériences. M. Street les résumait comme il suit dans l'intéressante communication sur les fours électriques qu'il présentait, en mai dernier, à la Société internationale des Electriciens :

« Lorsqu'on fait jaillir deux arcs en série de part et d'autre d'une lame ou d'une tige de charbon animée d'un mouvement de translation, si l'intensité du courant est relativement basse, les arcs tracent sur ce charbon deux génératrices qui sont graphitiques.

» La largeur de la trace laissée par l'arc est, sur un charbon de 14 mm. avec un courant de 40 ampères, d'environ 2 mm,, et la profondeur de la couche transformée d'environ 1,5 mm. Au fur et à mesure que la température intérieure du four s'accroît, la zone qui est le siège de la transformation se modifie, elle s'élargit sur la périsphère et la pénétration augmente.

« Au bout d'un certain temps, le charbon traité qui présentait, à l'endroit touché par l'arc, des boursouflements et des excavations, conserve absolument sa forme et, sans changement apparent de cette dernière, est transformé en graphite dans toute sa masse, ou plutôt la densité de transformation est uniformément répartie.

« A partir de ce moment, l'arc n'a plus l'aspect filiforme sous lequel nous sommes habitués à l'observer. Dans le cas où le courant employé est un courant alternatif, les charbons électrodes et le charbon à traiter semblent être le siège d'une volatilisation de carbone sur toute leur surface, ainsi que l'indique l'aspect des extrémités des charbons électrodes et de la surface du charbon transformé.

« Lorsque nous employons des fours à arc tournant, au début de l'expérience et lorsque l'on exagère la vitesse de translation à travers le four des pièces à traiter, ces dernières portent sur leur surface la trace d'une hélice en charbon graphitique. Le pas de cette hélice varie pour une même intensité avec la vitesse du charbon.

« Pour une vitesse convenable, la surface entière est transformée en graphite.

« L'usure des électrodes dans ces fours est extrêmement faible.

« Dans le cas des arcs tournants, les courants employés sont des courants continus, la pièce à traiter étant au pôle positif.

« Cette disposition a l'avantage de mettre l'électrode fixe dans des conditions très favorables au point de vue de la continuité de la marche, sans qu'il soit nécessaire de faire intervenir aucun dispositif de réglage de longueur d'arc.

« Dans le cas du four à défilement des pièces à traiter entre deux électrodes fixes, nous employons de préférence des courants alternatifs. L'usure faible des électrodes permet de faire un réglage à la main toutes les heures seulement.

« Cette usure est de 5 mm. pour un courant de 300 ampères, et pour des électrodes de 40 mm.

« Lorsque le four est au régime, l'allure de l'appareil est d'une régularité parfaite : l'ampèremètre, intercalé dans le circuit, donne des indications absolument constantes, et le voltmètre placé aux bornes des électrodes, permet de contrôler les longueurs d'arcs avec la plus grande exactitude.

« Les températures obtenues sont telles que nous sommes arrivés à cintrer des lames de charbon, en les soumettant à une pression en bout.

« Pour une même intensité et une même vitesse de translation, la capacité de transformation du carbone en graphite varie avec le mélange qui compose la pièce à transformer.

« Un charbon fait avec du coke de cornue aggloméré au goudron, est, après traitement au four électrique, moins graphité qu'un charbon contenant, soit 2 p. 100 de silice, soit 2 p. 100 d'acide borique. Du fer porphyrisé, mélangé au coke de cornue dans les mêmes proportions, donne un résultat analogue.

« La nature du milieu semble avoir peu d'influence sur la capacité de transformation. L'oxyde de carbone, l'azote, le sulfure de carbone donnent des résultats semblables. Avec l'hydrogène seul, il semblerait que la transformation est légèrement surexcitée.

« Lorsque les charbons ont été soumis à cette cuisson, les matières étrangères qu'ils contiennent sont volatilisées ou transformées en carbures, à proportions très élevées de carbone, très difficilement attaquables aux acides.

« Les charbons obtenus par ces procédés jouissent de propriétés nouvelles assez intéressantes. Leur conductibilité électrique est augmentée dans la proportion de 1 à 4. La conductibilité calorifique varie dans les mêmes proportions. Enfin la résistance à la combustion est très considérablement augmentée, ainsi que celle à l'action des alcalis fondus.

« La densité d'un charbon ordinaire de 14 mm. a été trouvée, avant traitement au four électrique, de 1,98. Celle du même charbon, après passage au four, était de 2,6. La proportion de carbone transformée en graphite était de 85 p. 100[1]. La densité d'un charbon de 25 mm., après passage au four, a été trouvée de 2,36 ; la teneur en graphite était de 80 p. 100. Ces différences tiennent à la valeur du courant mis en jeu et à la vitesse de translation du charbon à travers le four par rapport à la masse à traiter ».

En possession de ces résultats, MM. Girard et Street, passant de l'expérience à l'application, ont construit des fours destinés à transformer industriellement les charbons artificiels en graphite. Actuellement deux de ces fours sont installés à la station centrale du secteur des Champs-Élysées. Leur forme se rapproche beaucoup de celle que représente la figure ; le tube *t* est alors ouvert à ses deux extrémités et c'est à travers ce tube que passent les charbons à traiter. Ceux-ci sont guidés à leur entrée et à leur sortie de l'appareil par deux longs canaux prolongeant le tube *t* ; leur mouvement de translation est obtenu au moyen de galets mis en mouvement par un moteur électrique.

Ces fours sont de dimensions très inégales. Le plus petit sert au traitement de charbons ayant environ 1 cm. d'épaisseur ; l'autre, de beaucoup plus grandes dimensions (l'enveloppe extérieure a 80 cm. environ de largeur), permet de traiter des charbons ayant jusqu'à 5 cm. d'épaisseur.

Ces deux fours chôment un jour sur deux. Ce jour de chômage est employé à la réfection des chambres de chauffe qui, par suite de la haute température développée, sont rapidement mises hors de service. Toutefois, ces fours pourraient fonctionner pendant plus d'un jour, sans inconvénient, d'une manière continue. Mais jusqu'à présent, la faible consommation des charbons ainsi traités, nécessite, pour ne pas avoir de réserves trop importantes, le traitement de charbons de sections très différentes, ce qui oblige à changer souvent les pièces constituant les chambres de chauffe. Il est à espérer que dans un avenir prochain, cet incon-

[1] La teneur en graphite a été déterminée par la méthode de M. Berthelot.

Le carbone à étudier est réduit en poudre impalpable, puis mélangé à cinq ou six fois son poids de chlorate de potassium pulvérisé séparément. On jette alors la masse par petites portions dans l'acide azotique fumant de manière à obtenir une sorte de pâte. Après avoir abandonné la masse quelques heures, on la chauffe doucement dans une fiole ouverte, vers 50° ou 60°, pendant trois ou quatre jours. On lave ensuite à l'eau pour éliminer les sels de potasse.

Cette série d'opérations est renouvelée cinq ou six fois, afin de dissoudre complètement le carbone amorphe, et de transformer le graphite en acide graphitique.

vénient disparaîtra, et que l'on pourra alors obtenir une meilleure utilisation des fours.

Les applications des charbons graphites sont comme nous le disions précédemment : les lampes à arc, les balais pour dynamos et la confection d'électrodes pour l'électrolyse des sels alcalins.

D'après les expériences de MM. Girard et Street, les charbons graphites employés comme charbons négatifs dans les lampes à arc présentent, toutes choses égales d'ailleurs, une usure moitié moindre que celle des charbons ordinaires. Toutefois, le prix relativement élevé auquel revient, jusqu'à présent, le traitement, ne permet pas une grande extension de cette application, à moins de circonstances particulières d'exploitation, telles que la nécessité de fournir un très grand nombre d'heures d'éclairage avec les mêmes charbons.

Pour la confection de balais pour dynamos, les charbons graphitoïdes présentent de plus grands avantages. MM. Sautter, Harlé, ont reconnu que l'on pouvait faire supporter aux balais électro-graphitiques une intensité de courant deux fois plus grande, toutes choses égales d'ailleurs que celle reconnue dangereuse pour les balais en charbon ordinaire. En outre, l'état particulier dans lequel se trouve le carbone dans ces balais donne des frottements extrêmement doux sans encrassement exagéré des collecteurs et assure une haute conductibilité au point de contact entre les balais et le collecteur.

Employés comme anodes dans les opérations électrolytiques, les charbons graphitoïdes présententent des avantages plus grands encore. On sait, en effet, par de nombreuses observations et par les expériences de M. Hurter [1], que les charbons sont d'autant plus résistants à l'attaque par les alcalis qu'ils ont subi une cuisson plus intense. MM. Girard et Street, se sont eux-mêmes assurés, par l'expérience, que les charbons graphitoïdes obtenus au moyen de leurs fours, présentaient à un très haut degré cette résistance aux actions chimiques et qu'en particulier ils donnent des résultats remarquables dans le cas de l'électrolyse des chlorures.

Les observations de M. Greenwood, inventeur d'un électrolyseur spécial exploité par le *Caustic soda and Chlorine Syndicate* de Londres en vue de la fabrication de la soude caustique, viennent confirmer les résultats de ces expériences. Dans cet électrolyseur l'anode est construite de la manière suivante : un certain nombre de plaques de charbon sont cuivrées d'un côté, puis étamées et ensuite placées côte à côte dans un moule, de façon à former une seule grande plaque. Afin de réunir les parties constitutives de ces grandes plaques, un alliage de plomb et d'antimoine est coulé dans le moule, de sorte qu'après solidification on obtient un ensemble de plaques de charbon fixées à une armature métallique. Cette ossature ainsi que les joints séparant les plaques sont recouverts d'un ciment isolant et inattaquable aux acides. En outre, les charbons sont trempés dans la cire de paraffine afin d'en boucher les pores et d'empêcher l'électrolyse d'arriver en contact avec le métal se trouvant à l'arrière des charbons.

Lorsque ces anodes sont construites avec des charbons artificiels ordinaires, au bout de quelques jours elles sont hors d'usage, les plaques de charbon qui les constituent tombant en poussière. Or, il y a quinze mois environ, M. Greenwood a monté un certain nombre d'électrolyseurs avec des charbons graphitoïdes, et depuis cette époque les anodes ne présentent aucune usure perceptible, bien que les appareils aient été constamment en activité.

Ce résultat nous semble permettre de surmonter une des principales difficultés que l'on rencontre en électrolyse, Aussi nous paraissait-il utile de présenter à nos lecteurs les appareils qui permettent d'obtenir industriellement la transformation des charbons artificiels ordinaires en graphite.

J. Reyval.

[1] Hurter. *Sur le rendement des appareils électrolytiques* (*The Electrician*, 9 août 1895. — *L'Eclairage Electrique*, 31 août, p. 405).

REVUE
DE LA PRESSE INDUSTRIELLE
ET DES INVENTIONS

Séparation des alcalis caustiques des liqueurs obtenues par l'électrolyse des sels alcalins, procédé Solvay (1894).

Dans l'électrolyse des chlorures alcalins, l'on ne retire guère plus de 10 p. 100 de l'alcali, le reste du chlorure reste non décomposé. On peut, pour éviter cette perte, évaporer jusqu'à précipitation de l'alcali caustique par concentration, mais il est difficile de réaliser pratiquement cette concentration dans un liquide où il se forme constamment, à mesure que la concentration progresse, un précipité fin, et cette évaporation empêche presque toujours l'emploi d'appareils économiques comme les évaporateurs à triple effet.

Au lieu d'évaporer la liqueur mère résultant de l'électrolyse, M. Solvay l'enrichit par son mélange avec une dissolution de soude caustique à 40° Baumé provenant d'une opération antérieure. Cette addition précipite tout le sel de la liqueur, en produisant une dissolution pratiquement dépourvue de chlorure de sodium, et que l'on peut, par conséquent, vaporiser dans un appareil à triple effet. Mais l'on ne peut jamais séparer ainsi qu'une très faible partie de la liqueur mère, le reste du sel demeure en grande partie à l'état de boue fine. Ce sel reste imprégné de dissolution de soude impossible à séparer par drainage, succion, compression, etc. Afin d'éviter cette perte, on place le mélange de sel et de dissolution sodée dans un récipient cylindrique chauffé à la vapeur, avec double fond perforé de manière à passer le liquide; on chauffe à 100°, puis on dispose sur le haut du mélange, mais en ayant soin de ne pas l'y mêler, une couche d'eau saturée de sel, en volume égal à celui de la dissolution caustique à laquelle est mélangé le sel précipité. Lorsqu'on ouvre un robinet de vidange au bas du récipient, il se produit comme un déplacement moléculaire de la dissolution caustique, remplacée couche par couche par la dissolution saturée sans aucunement l'y mélanger. On ferme le robinet quand le liquide qui s'en écoule cesse d'être caustique, c'est-à-dire quand le volume de la dissolution caustique écoulée est à peu près égal à celui de la dissolution saturée ajoutée au haut du récipient. G. R.

Electrolyseur Waite (1894).

L'électrode négative 3 est constituée par une série de toiles métalliques, avec cadre métallique 4, surmonté d'une cloche 5, renfermant

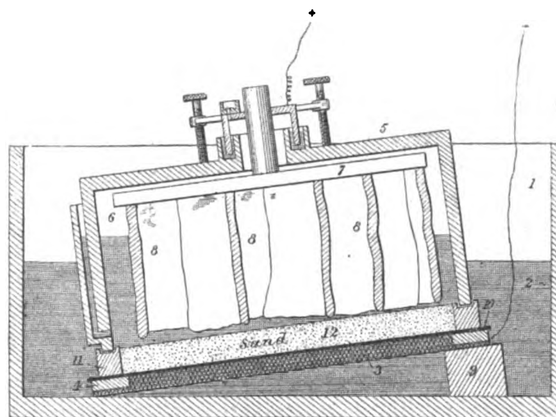


Fig. 1. — Électrolyseur Waite.

l'électrode négative 6, constituée par des blocs de charbon 8, fixés à un plateau métallique 7. Le tout est incliné par un support 9, de manière à faciliter le dégagement des gaz formés à l'électrode négative. Cette électrode 3 est séparée de l'autre par une toile d'amiante 10 et un banc de sable 12, un cadre en potine 11, de 30 à 50 mm. d'épaisseur, formant garniture étanche avec le bord de la cloche. Ce diaphragme d'amiante et de sable, absolument inattaquable, empêche totalement l'hydrogène de passer dans le compartiment anode, et, pourvu que l'on maintienne le liquide ou la pression plus élevée dans la cloche que dans la cuve 2, la soude électrolysée dans cette cuve ne peut pas ou presque pas se diffuser dans la cloche, condition indispensable pour l'efficacité de l'électrolyse. G. R.

Electrolyseur Gautier (1894).

Dans la plupart des appareils électrolyseurs le rendement ne tarde pas à baisser par suite de l'échauffement : cet échauffement empêche par exemple de dépasser, pour l'électrolyse du chlorure de sodium, deux ou trois grammes

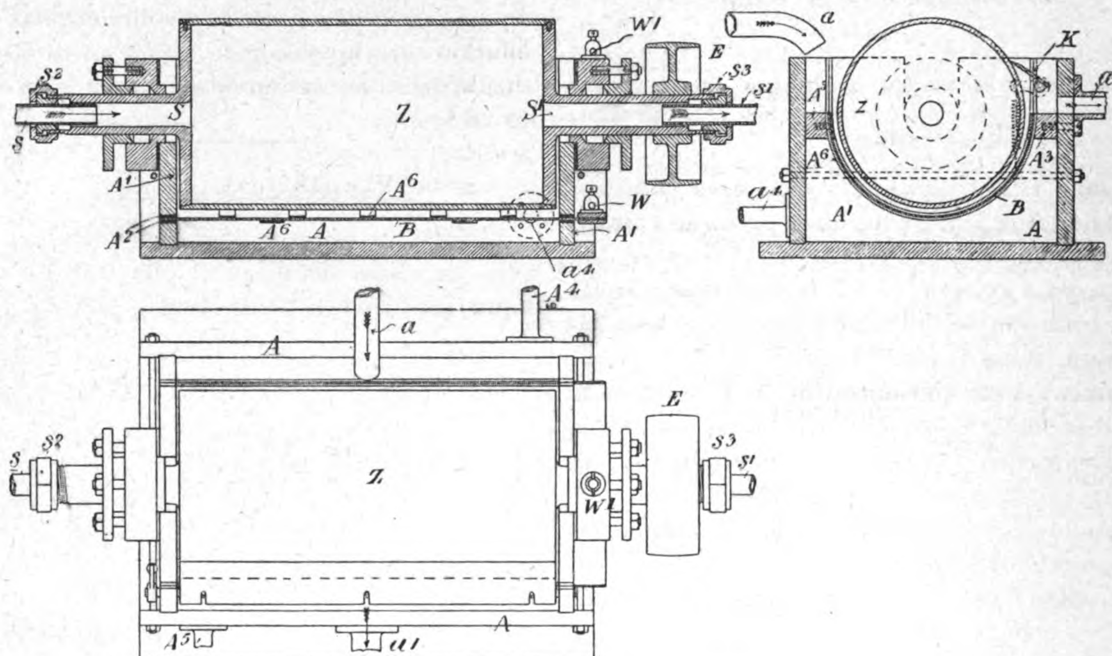


Fig. 1 à 3. — Électrolyseur Gautier (1894).

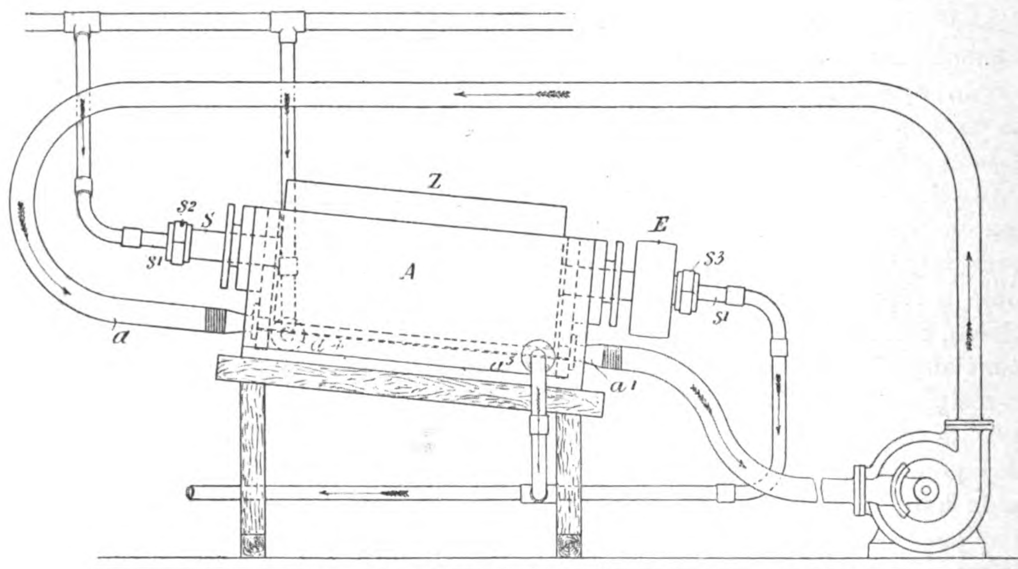


Fig. 4. — Électrolyseur Gautier (1895).

de chlore par litre de la dissolution traitée. Dans l'appareil de M. Gautier, les électrodes sont refroidies de manière que la température ne s'élève jamais à celle où il peut se former,

entre les divers éléments en jeu, des combinaisons autres que celles que l'on recherche.

Les figures 1 à 3 représentent l'application de cette méthode à un appareil Hermite.

L'appareil est monté dans une auge A, avec fonds A_1, en deux pièces pinçant entre elles, au moyen de garnitures étanches en caoutchouc A_2, l'électrode positive B. Cette électrode cylindrique est armée de bandes A_6, fixées aux supports A_3, elle entoure l'électrode négative Z, en forme de tambour à tourbillons s, et s_1 et poulie E, et reçoit son courant en W. L'eau de refroidissement traverse Z de S à S_1 par les garnitures s s_2 s_3 s_1, et la dissolution en électrolyse passe, de a en a_1, entre les électrodes. Des racloirs K nettoient constamment l'électrode négative Z.

En fig. 4, l'appareil est incliné de manière à éviter toute accumulation de précipités entre les deux électrodes, et la dissolution traverse l'appareil en ligne directe de a en a_1, par l'action d'une pompe centrifuge. G. R.

Siphon recorder Muirhead [1].

Les différentes parties du siphon recorder nouvellement construit par M. Muirhead (fig. 1) sont disposées de façon que les divers réglages puissent être effectués beaucoup plus facilement que dans les formes anciennes de

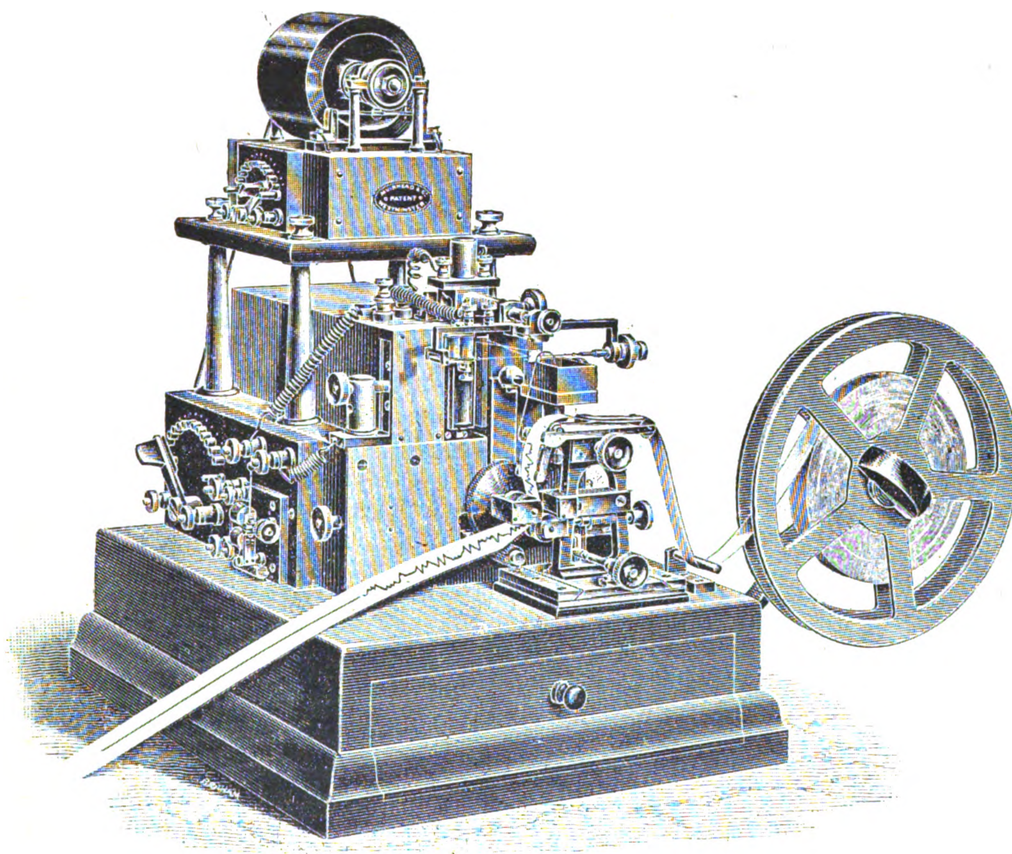


Fig. 1. — Siphon recorder Muirhead.

cet appareil; de plus, la bobine mobile peut être aisément remplacée en cas d'accident.

L'aimant, entre les pôles duquel se meut la bobine rectangulaire, est formé d'un assem-

(1) *The Electrician*, 2 août 1895.

blage de fers à cheval plats d'excellente qualité et pourvus de pièces polaires réglables.

La bobine mobile, suspendue à des fibres, est montée avec un noyau de fer doux fixe, sur une plaque de laiton accolée à une crémaillère qu'un pignon avec vis à tête moletée permet de déplacer. La plaque porte un bras auquel est fixé le fil tendu supportant la lame en aluminium qui actionne le siphon. Sur ce bras est encore monté l'électro-aimant faisant partie du vibrateur, et à l'armature duquel est fixé un bout du fil portant le siphon.

Sur la gauche de la base de l'instrument est

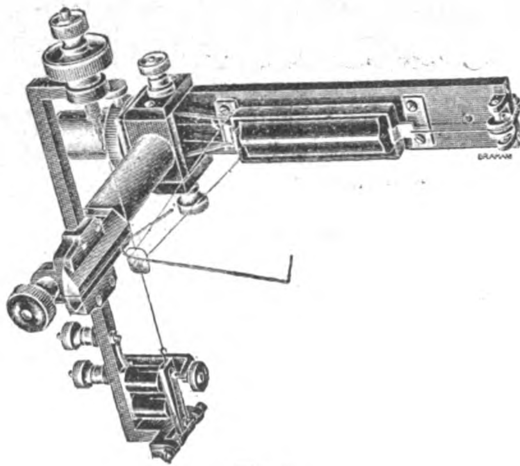


Fig. 2.

disposé l'interrupteur du vibrateur, et un rhéostat réglant le courant de cet interrupteur. De l'autre côté est placé un rhéostat pour faire varier le courant qui passe dans le moulin électrique, de même que les shunts de la bobine. Dans cet appareil, la hauteur de l'encrier peut aussi être réglée. Le moteur est placé sur un plateau au-dessus de l'instrument, et sa poulie est reliée à l'axe de l'entraînement du papier par un ruban d'acier tordu en hélice.

La suspension du nouvel appareil est de disposition particulière (fig. 2). La bobine suspendue est reliée, à l'aide de deux fibres attachées à un bras léger fixé à la bobine, avec la lame d'aluminium sur laquelle est collé le siphon en verre. Une des fibres est attachée à la partie supérieure de cette lame, l'autre à la partie inférieure. La torsion du fil transversal tendu exerce, par l'intermédiaire des fibres, une force directrice sur la bobine.

A. H.

Répartiteur d'électro-dépositions Rudholzner (1894).

Pour pouvoir varier à volonté l'épaisseur des dépôts électrolytiques sur les surfaces des objets, M. Rudholzner interpose dans le bain, entre l'objet et l'anode, des plaques ou lamelles librement suspendues, en verre ou en ébonite, et percées de trous plus ou moins grands, de manière que les surfaces de l'objet situées vis-à-vis des trous, et soumises plus directement à l'action du courant, reçoivent un dépôt plus épais que les autres.

G. R.

Représentation mécanique du fonctionnement des câbles sous-marins.

Une analogie mécanique correcte facilite singulièrement, lorsqu'on peut la trouver, l'intelligence des phénomènes électriques. C'est ainsi que, dans une récente communication à la Royal Institution, le prof. George Forbes a présenté une reproduction mécanique du mode de fonctionnement électrique d'un câble sous-marin.

Dans un long tube de verre, de 7 à 8 cm. de diamètre, un fil verticalement suspendu dans l'huile représente le câble. Il est fixé à un ressort qui figure le condensateur d'émission, et porte à sa partie supérieure une roue à aubes contre lesquelles peuvent être lancés des jets d'air tordant le fil soit à droite soit à gauche. La torsion du fil représente la force électromotrice correspondant aux émissions positives ou négatives d'une pile. Au bas, le fil est muni d'un miroir au dos duquel est un aimant réglé par un autre aimant extérieur, image du condensateur récepteur. La friction du liquide représente la résistance électrique, et la torsion, la charge.

Lors de la communication ci-dessus, un câble électrique artificiel équivalent à un câble de 3 700 km. de long se trouvait sur la table

où était monté ce dispositif, et l'on travaillait sur les deux appareils avec les mêmes clés. Chacun d'eux envoyait un pinceau lumineux sur un écran, et l'on voyait ces deux pinceaux se mouvoir d'une façon analogue, sinon identique, lorsqu'on y lançait des dépêches.

Ce modèle est appelé à devenir classique dans les cours d'électricité; c'est un magnifique exemple de la façon dont une action d'une certaine forme peut s'expliquer à l'aide d'une autre. E. B.

Calcul de la section la plus économique des câbles, par Fr. Vogel [1].

Le calcul de la section la plus avantageuse à donner aux conducteurs électriques est connu pour le cas où l'on n'a à tenir compte que de la masse de métal engagée. Dans le cas des câbles isolés, dont le prix par unité de longueur et de section varie autrement que celui des conducteurs nus, on peut établir, comme le fait l'auteur, un calcul analogue.

C. Heim indique, dans son manuel, pour un type de câble donné, les variations de prix suivantes:

Section en mm².	Prix par mètre en francs.
1	0,30
1,5	0,35
2,5	0,415
4	0,525
6	0,625
10	0,85
16	1,20
25	1,65
35	2,15
50	2,75
70	3,90
95	4,75

D'après ce tableau, le prix π par unité de longueur augmente proportionnellement à la section q, et est assez bien représenté par une droite ayant pour expression algébrique:

$$\pi = a + bq.$$

Si q est exprimé en millimètres carrés et si l'unité de longueur choisie est le mètre, on a approximativement $a = 0,35$ et $b = 0,05$ [1].

Pour le cas d'une ligne simple de longueur l, de résistance spécifique α microhms-centimètres, parcourue par un courant moyen de I ampères pendant t heures par an, l'énergie perdue annuellement est de

$$I^2 \frac{\alpha}{100} \frac{l}{q} t \text{ watts.}$$

Si le prix de revient du kilowatt-heure est de P francs, on perd donc par an:

$$\frac{P}{1000} I^2 \frac{\alpha}{100} \frac{l}{q} t \text{ francs.} \qquad (1)$$

Le prix total de la ligne étant

$$l\,(a + bq),$$

on aura p p. 100 de ce prix en frais d'amortissement et de rémunération du capital, soit

$$\frac{p}{100} l\,(a + bq). \qquad (2)$$

La section la plus économique à employer se calcule en égalant à zéro la dérivée de la somme des expressions (1) et (2), ce qui donne pour la densité de courant

$$\frac{I}{q} = \sqrt{\frac{pb\,1000}{P\alpha t}}.$$

Pour prendre un exemple, nous poserons $\alpha = 1,7$, $p = 10$, $t = 1\,500$, enfin $P = 0.05$ [2]. On obtient alors

$$\frac{I}{q} = \sqrt{\frac{10 \times 0,05 \times 1000}{0,05 \times 1,7 \times 1500}} = 2 \text{ ampères par mm}^2.$$

Dans le cas d'un réseau, il faut déterminer les intensités moyennes probables qui doivent circuler dans les différentes branches. On peut supposer connues les longueurs $l_1, l_2, \ldots l_n$ des feeders; leurs sections respectives étant désignées par $q_1, q_2, \ldots q_n$, et les intensités qui les

(1) *Elektrot. Zeitschr*, 8 août 1895.

(1) L'article contient plusieurs erreurs numériques et nous avons dû modifier la plupart des chiffres.

(2) L'auteur prend dans son exemple 0 fr. 05 pour prix du kilowatt-heure, ce qui nous parait assez éloigné de la réalité.

traversent par i_1, i_2, ...i_n, la perte d'énergie annuelle est représentée par

$$\frac{P\alpha t}{1000 \times 100}\left(i_1^2\,\frac{l_1}{q_1} + i_2^2\,\frac{l_2}{q_2} + \ldots\ldots i_n^2\frac{l_n}{q_n}\right). \qquad (3)$$

On obtient d'une manière analogue pour les frais d'amortissement

$$\frac{p}{100}\left\{l_1(a + bq_1) + l_2(a + bq_2) + \ldots\ldots l_n(a + bq_n).\right\} \quad (4)$$

Mais les sections des feeders ne sont pas indépendantes les unes des autres; elles sont au contraire reliées par la condition que pour des intensités simultanées I_1, I_2, ...I_n, la perte en ligne doit être la même sur les différents câbles. On peut sans inconvénient remplacer les intensités I_1..... I_n, par les intensités moyennes i_1, i_2,..... i_n qui doivent alors satisfaire à la condition :

$$i_1\alpha\,\frac{l_1}{q_1} = i_2\alpha\,\frac{l_2}{q_2} = \ldots\ldots\, i_n\alpha\,\frac{l_n}{q_n},$$

d'où

$$q_2 = q_1\frac{i_2}{i_1}\,\frac{l_2}{l_1}, \qquad \ldots\; q_n = q_1\,\frac{i_n}{i_1}\frac{l_n}{l_1}$$

En substituant ces valeurs dans (3) et (4), et en cherchant le minimum de la somme des pertes, on obtient pour la densité de courant la plus économique dans un des feeders

$$\frac{i_1}{q_1} = \frac{1}{l_1}\sqrt{\frac{l_1^2 i_1 + \ldots\ldots l i_n}{(i_1 + i_2 + \ldots\ldots i_n)}}\;\sqrt{\frac{pb\;1000}{P\alpha t}}.$$

La somme $i_1 + i_2 + \ldots\ldots i_n$ représente la charge moyenne du réseau. La somme des $l^2 i$ au numérateur est la même pour tous les feeders. On trouve donc que les densités de courant économiques sont inversement proportionnelles aux longueurs des feeders, ce qui doit être, étant donnée l'égalité de la chute de voltage. A. H.

Les réactions électrochimiques dans les accumulateurs, par W. H. Cooper [1].

Dans un article publié vers la fin de l'année dernière dans les *Annales de Wiedemann* [2] la théorie bien connue de la double sulfatation dans les accumulateurs a été reprise et appuyée sur de nouveaux arguments par M. F. Streintz, et sa manière de voir à cet égard a soulevé la critique de notre confrère l'*Électricien* [1] par la plume de M. G. Darrieus [2]. M. Cooper revient sur ces deux écrits dont on trouvera en même temps ci-après la substance.

Dans l'hypothèse que l'énergie de l'élément est uniquement due à la formation de sels aux dépens de l'acide sulfurique, M. Streintz représente de la façon suivante les réactions électrolytiques à la décharge :

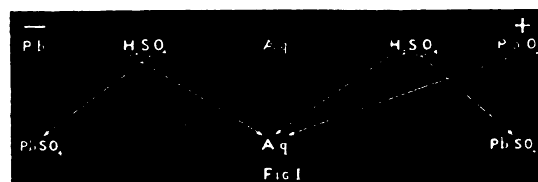


Fig. 1

Cette représentation ne tient aucun compte des réactions de la formation d'acide plombique H^2PbO^3, de l'absorption d'hydrogène par la plaque négative, ni du dégagement du gaz à l'état libre.

Pour calculer la f. é. m. de l'élément d'après les données thermochimiques, M. Streintz admet que les échanges électrolytiques s'effectuent en trois périodes successives : en premier lieu l'eau est décomposée et il en résulte une absorption de chaleur équivalente à celle représentée par le terme numérique de l'équation



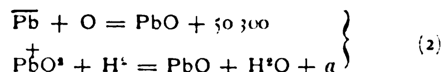
$$H^2O = H^2 + O - 68\,400 \qquad (1)$$

L'oxydation de la plaque négative et la réduction de la positive passant toutes deux à l'état de protoxyde résultent de la libération de l'oxygène et de l'hydrogène et donnent lieu en

(1) *The Electrician*, t. XXXV, p. 290, 28 juin 1895.
(2) *Annales de Wiedemann*, octobre 1894.

(1) *L'Electricien*, 18 mai 1895.
(2) Rappelons à ce propos que la théorie publiée par M. Darrieus en 1892, dans le *Bulletin de la Société internationale des Electriciens* a été récemment l'objet d'observations critiques de la part de MM. Elbs et Schœnherr (*Eclairage Electrique* du 23 février 1895, p. 368); M. Darrieus se propose de revenir prochainement sur ce sujet.

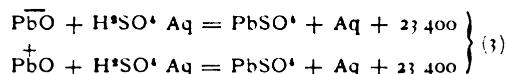
conséquence à une évolution calorifique conforme aux équations



$$\left.\begin{array}{l}\overline{Pb} + O = PbO + 50\,300 \\ \overset{+}{Pb}O^2 + H^2 = PbO + H^2O + a\end{array}\right\} \quad (2)$$

La quantité *a* est inconnue.

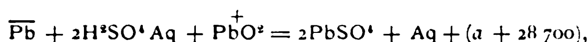
Comme les oxydes métalliques ne peuvent subsister en présence d'un acide libre, il se produit finalement une évolution calorifique due à la formation de sulfate de plomb sur les deux plaques conformément aux équations suivantes :



$$\left.\begin{array}{l}\overline{Pb}O + H^2SO^4\,Aq = PbSO^4 + Aq + 23\,400 \\ \overset{+}{Pb}O + H^2SO^4\,Aq = PbSO^4 + Aq + 23\,400\end{array}\right\} \quad (3)$$

Les constantes électrochimiques employées sont celles données par Oswald, exprimées en calories.

L'échange électrochimique total est en conséquence représenté par l'expression



$$\overline{Pb} + 2H^2SO^4\,Aq + \overset{+}{Pb}O^2 = 2PbSO^4 + Aq + (a + 28\,700),$$

et la f. é. m., par un dégagement de chaleur égal à $(a + 28\,700)$ unités.

La quantité *a* était indirectement déterminée par un procédé que nous n'avons pas à décrire complètement ici. Il repose sur la mesure de la chaleur développée par la transformation du peroxyde de plomb en sulfate de plomb sous l'action de l'acide sulfurique en présence de l'acide chlorhydrique, suivant la méthode de Nernst. Le résultat obtenu est vicié dans une certaine mesure par le fait qu'une partie du sulfate de plomb formé se transforme en sels acides. A l'aide d'équations reliant *a* à la quantité ainsi obtenue et impliquant les données thermochimiques connues, on déduit la valeur de *a* égale à $+ 58\,300$ calories.

Ainsi la quantité totale de chaleur développée dans les échanges électrochimiques considérés est représentée par 87 000 calories. Si l'on admet pour le nombre de coulombs correspondant à la libération d'un gramme d'hydrogène 96 540 et pour équivalent du joule 0,239 calorie, comme le plomb est bivalent, 46 150 calories correspondent à un volt, et l'on a pour la f. é. m. $\frac{87\,000}{46\,150} = 1{,}885$ volt.

Mais on a trouvé expérimentalement que la f. é. m. d'un élément à acide H^2SO^4 très dilué (densité égale à 1,055) était de 1,900 volt, et le coefficient de température d'un élément de ce genre est de $+ 0{,}000140$; la f. é. m. de cet élément due à l'énergie chimique seule ressortirait donc à 1,860 volt, résultat très voisin de celui obtenu par le calcul.

En raison des nombreuses erreurs auxquelles peut donner lieu la détermination des données thermochimiques, M. Streintz conclut en faisant observer que la coïncidence de ces résultats peut être partiellement attribuée à un heureux concours de circonstances, mais que cette étude contribue néanmoins à montrer que les réactions peuvent être simplement représentées.

M. Darrieus s'élève contre cette théorie dans l'*Électricien* et nie ces prémisses *que les oxydes métalliques ne peuvent subsister en présence d'un acide libre.* Il donne les résultats d'expériences démontrant que du peroxyde de plomb, laissé pendant deux jours dans de l'acide sulfurique à différents degrés de concentration, n'était que partiellement transformé en sulfate. Il semblerait résulter de là que la théorie de la double sulfatation, émise par MM. Gladstone et Hibbert ainsi que par d'autres, n'est pas soutenable. On a également observé que la quantité de sulfate formé sur la plaque positive est variable, ce qui s'expliquerait aisément par l'action limitée de l'acide ci-dessus indiquée.

L'émission de cette théorie n'a d'autre origine que le désir d'appliquer ici à tout prix la loi de Thomson ; elle est absolument contraire à toutes les lois de l'électrolyse. Comme conclusion, M. Darrieus fait remarquer qu'elle est également inutile si l'on considère uniquement les propriétés caractéristiques de la matière active sur la plaque négative.

Pour l'auteur, la détermination expérimentale de la quantité de sulfate de plomb formée

par l'action de l'acide sulfurique sur le protoxyde de plomb ne lui paraît pas remplir les conditions exigées par une expérience décisive. A moins que la litharge ne soit dans un état d'extrême division, il est peu probable que la totalité en puisse être transformée en sulfate de plomb, en raison de ce que ce dernier composé insoluble doit former une sorte de revêtement extérieur qui protège ses parties internes et s'oppose à la propagation de l'action de l'acide. Dans les actions électrolytiques considérées on a, au contraire, tout d'abord affaire à la réduction du peroxyde de plomb par l'hydrogène, et il est rationnel d'admettre que, là où s'effectue cette réduction, on se trouve en présence d'acide libre qui forme dès lors le sulfate. Cependant, par suite

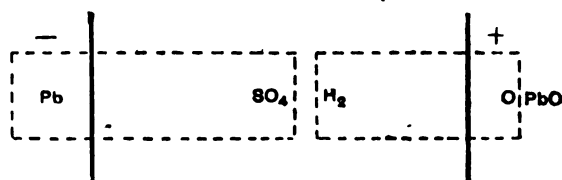


Fig. 2.

de la formation continuelle d'eau dans les deux réactions et de l'affaiblissement de l'acide qui en est la conséquence, on doit s'attendre à voir varier la quantité de sulfate formée.

Toutefois, d'autres raisons permettent de mettre sérieusement en doute la validité de la théorie de la double sulfatation. L'équation hémigraphique donnée par M. Streintz au début de son mémoire ne peut être regardée comme exacte. On peut, en effet, considérer la première molécule d'acide sulfurique comme agissant de la manière ordinaire, suivant le diagramme de la figure 2. Mais comment représenter l'action de la seconde molécule d'acide? Les ions H^2 et SO^4 sont tous deux nécessaires sur la même plaque.

Il existe actuellement une tendance à écarter la distinction entre les réactions primaires et secondaires. Elle est due surtout à l'idée confuse qu'on se fait de ce qui constitue l'une ou l'autre de ces deux classes d'actions. Aucune énergie électrique ne peut être fournie au circuit par échange chimique sans qu'il y ait libération ou séparation d'un ion. Pour expliquer l'action de la seconde molécule d'acide sulfurique, on peut regarder l'oxyde PbO comme équivalent aux deux pôles d'une pile, l'un en Pb, l'autre en O. L'acide sulfurique est dissocié, la portion SO^4 en passe au plomb pour former du sulfate, la portion H^2, passe à l'oxygène pour constituer de l'eau, conformément au diagramme de la figure 3. Si le plomb Pb se trouve suffisamment près de O, on a une molécule de PbO. On peut avoir dans ce circuit de l'énergie électrique due à la réaction, mais c'est un circuit fermé qui ne contribue en rien à l'énergie de l'élément.

La solution de la difficulté paraît résulter plutôt de l'examen de la véritable nature de

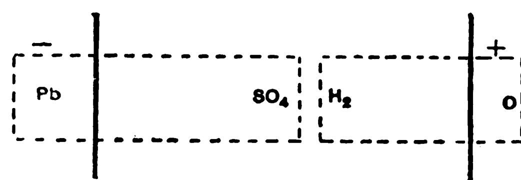


Fig. 3.

la plaque négative. M. Darrieus [1] a reconnu que si, dans un élément Daniell, on substitue au zinc du plomb spongieux ou réduit, sa f. é. m. est de 0,68 volt, au lieu de 0,3 volt que donne le calcul. Il infère, en conséquence, de ce que l'action de l'élément Daniell est simple et satisfait à la loi de Thomson, que la plaque négative d'un élément secondaire est formée de plomb dans un état moléculaire différent ou dans une condition allotropique telle que sa puissance de réduction est plus élevée que celle du plomb ordinaire pour lequel les chaleurs de combinaison ont été déterminées. Dans ces conditions les valeurs calculées exigeraient donc une correction de 0,34 volt en plus. Par exemple, la f. é. m. d'un élément secondaire, calculée dans l'hypothèse d'une seule molécule d'acide sulfurique considérée, prend la valeur 1,6 ohm (donnée par M. Dar-

[1] Voir *l'Electricien*, 2e série, tome VIII, p. 237.

rieus), qui, augmentée de la correction ci-dessus, s'élève à 1,94 volt.

Il est permis d'espérer que de nouvelles recherches dans ce sens donneront à cette question une assise plus satisfaisante qu'il n'a encore été possible de l'établir.

E. B.

REVUE DES SOCIÉTÉS SAVANTES ET DES PUBLICATIONS SCIENTIFIQUES

Sur les potentiels explosifs statique et dynamique, par R. Swyngedauw [1].

« On admet, en général, qu'une étincelle éclate à un excitateur lorsque la différence de potentiel entre ses pôles atteint une valeur déterminée, pour des conditions physiques données, mais indépendante de la façon dont on provoque la décharge.

« D'après M. Jaumann, le potentiel explosif dépend de la vitesse de charge de l'excitateur; il est d'autant plus petit que les variations de la charge sont plus rapides. M. Jaumann tirait cette conséquence, si importante pour l'étude des décharges, d'une série d'expériences très ingénieuses [2]. Son opinion ne fut pas admise par tous les physiciens.

« La nécessité d'entourer les expériences de précautions minutieuses, que j'ai signalées dans une Note antérieure [3], m'a conduit à penser que les résultats de M. Jaumann étaient susceptibles d'une interprétation différente, fondée sur la proposition suivante, énoncée dans la Communication précédemment citée : *L'abaissement des potentiels explosifs par la lumière ultra-violette est beaucoup plus considérable pour les potentiels dynamiques que pour les potentiels statiques.*

« Avant de décrire les expériences qui établissent cette conclusion je dois montrer comment j'ai repris les expériences de M. Jaumann, sous une forme susceptible d'une interprétation simple et facile.

« Les armatures d'un condensateur C communiquant avec les pôles d'une machine électrostatique et avec les pôles d'un excitateur principal, on augmente brusquement la capacité du condensateur, en joignant les armatures de ce dernier aux armatures d'un autre condensateur de capacité plus petite. La différence de potentiel entre les armatures de

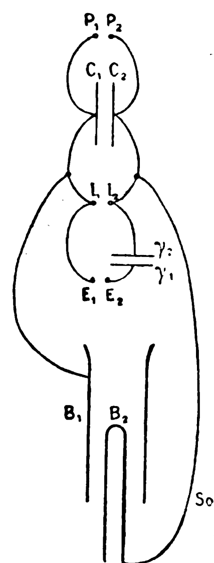


Fig. 1.

C et par suite entre les pôles de l'excitateur diminue brusquement.

« L'expérience consiste à voir si la diminution brusque du potentiel décharge l'excitateur pour un potentiel inférieur au potentiel explosif de l'excitateur chargé lentement et régulièrement au moyen d'une machine électrostatique.

« Soient C_1, C_2 les armatures du condensateur principal; γ_1, γ_2, les armatures d'un condensateur secondaire; I_1, I_2 les pôles de l'excitateur principal; E_1, E_2, les pôles de l'excitateur secondaire; P_1, P_2 les pôles de la machine de Holtz; B_1, B_2 les cylindres extérieur et intérieur d'un électromètre de MM. Bichat et Blondlot. On fait communi-

[1] *Comptes rendus*, t. CXX, p. 195.
[2] *Sitz. ber. der Akad. der Wiss. zu Wien.*, p. 765; juillet 1888.
[3] *Comptes rendus*; juillet 1895.

quer métalliquement : 1° $P_1C_1E_1B$; 2° $E_2\gamma_1$; on réunit entre eux et au sol $P_2C_2I_2\gamma_2B_2$; on place des écrans autour de I_1I_2 pour préserver cet excitateur de l'action de la lumière ultra-violette de l'étincelle de E_1E_2 et des effluves qui peuvent s'échapper des fils pendant la charge ; on observe par la méthode subjective les divisions d'une règle verticale, réfléchies sur le miroir de l'électromètre.

« Les expériences sont conduites de la manière suivante : On tourne la machine de façon à charger le condensateur C_1C_2 aussi lentement que possible, et en même temps on suit dans la lunette l'indication de l'électromètre ; on note la division de l'échelle qui passe au réticule au moment où l'étincelle éclate en I_1I_2, ce qui donne le potentiel explosif de l'excitateur principal. On recommence la charge avec la même lenteur, et, lorsque le potentiel de I_1I_2 est très peu inférieur au potentiel explosif préalablement déterminé, on fait éclater une étincelle en E_1E_2 de façon à diminuer brusquement le potentiel de I_1I_2 en chargeant le condensateur $\gamma_1\gamma_2$ aux dépens de C_1C_2 ; pour cela, un aide amène la boule E_1 au contact de la boule E_2 et l'éloigne aussitôt, il note la division observée à la lunette au moment de l'étincelle en E_1E_2 et décharge le condensateur $\gamma_1\gamma_2$; par suite de l'étincelle en E_1E_2, le potentiel de I_1I_2 a diminué plus ou moins. On recommence la charge dans les mêmes conditions, et l'on fait éclater l'étincelle en E_1E_2 pour un potentiel un peu plus élevé, et ainsi de suite. Si la proposition de M. Jaumann est exacte, si une variation rapide du potentiel diminue réellement le potentiel explosif, on trouvera toujours une valeur du potentiel de I_1I_2 assez voisine du potentiel explosif pour que l'étincelle en E_1E_2 provoque en même temps la décharge de l'excitateur principal.

« L'expérience ne confirme pas cette manière de voir ; elle montre, au contraire, que l'on peut approcher du potentiel explosif de l'excitateur I_1I_2 aussi près que l'on veut, provoquer par l'étincelle en E_1E_2 une diminution brusque quelconque de potentiel, sans qu'il soit possible d'observer deux étincelles simultanées en E_1E_2 et I_1I_2 *pourvu que l'excitateur* I_1I_2 *soit protégé soigneusement contre la lumière des effluves et des étincelles.*

« Voici quelques exemples : Le condensateur C_1C_2 est une bouteille de Leyde de 0^{microf}, 005. Le potentiel explosif de I_1I_2 est d'environ 35 unités électrostatiques C.G.S. Lorsque l'électromètre est à l'état neutre et en équilibre, l'image de la division zéro coïncide avec le réticule de la lunette. La charge de l'électromètre est de 4^{dgr}, et 1^{dgr} correspond à 36 divisions de l'échelle. On fait éclater les étincelles environ toutes les minutes.

« Dans les tableaux suivants, les expériences sont relatées dans l'ordre où elles ont été faites. La lettre *e* indique que l'on fait éclater l'étincelle en E_1E_2 ; la lettre *i* que l'étincelle éclate en I_1I_2. Le nombre en regard de *i* ou de *e* représente la division de l'échelle de l'électromètre dont l'image coïncide avec le réticule au moment de l'étincelle.

« *Expérience I.* — Les pôles de I_1I_2 sont en laiton, le condensateur $\gamma_1\gamma_2$ est une sphère de 5^{cm} de rayon, sa capacité est donc environ 900 fois plus petite que celle de C_1C_2.

(1)	+ 5	*i*	(7) . . .	4	*i*
(2)	— 8	*e*	(8) . . .	3	*e*
(3)	0	*e*	(9) . . .	5	*e*
(4)	+ 3	*e*	(10). . .	7	*e*
(5)	+ 4	*e*	(11). . .	7,50	*i*
(6)	+ 6	*i*			

« La charge de l'électromètre étant de 4^{dgr} dans l'expérience (11), le carré du potentiel mesuré en unités arbitraires est $4 \times 36 + 7{,}50$, ou 151,50. Les expressions (10) et (11) prouvent donc qu'on n'a pu constater un abaissement apparent de 0,5 sur 151,50.

« *Expérience II.* — Les pôles de I_1I_2 sont en platine, $\gamma_1\gamma_2$ est un petit condensateur plan de capacité 0^{microf}, 0002, c'est-à-dire 25 fois plus petite que celle de C_1C_2.

« 1° On protège soigneusement les pôles I_1I_2 par des écrans.

(1)	19	*e*	(5)	25	*e*
(2)	20	*e*	(6)	27	*e*
(3)	21	*e*	(7)	27,50	*i*
(4)	23	*e*			

il est donc impossible de constater sur le carré du potentiel un abaissement de 0,5 sur 171,5.

« 2° On enlève les écrans qui protègent l'excitateur I_1I_2 contre la lumière des effluves.

(1) . . .	+ 4 *e* et *i*	(4). . .	4 *e* et *i*
(2) . . .	0 *e*	(5). . .	10 *i*
(3) . . .	2 *e*		

sans précautions spéciales contre la lumière des effluves, l'abaissement apparent est de 16 unités sur 164. La lumière de l'arc électrique produit le même effet.

« D'après les expériences précédentes, je crois pouvoir conclure que *le potentiel explosif d'un excitateur placé à l'abri des radiations ultra-violettes n'est pas diminué d'une façon appréciable* (1) *par des variations très petites et très rapides du potentiel* (2). »

Éclairage par luminescence, par A. Witz (3).

« Les foyers de lumière sont constitués par un solide ou un liquide incandescent, dont la température doit dépasser 1100°, d'après Draper, pour que la lumière soit blanche et le spectre complet. Le spectre visible a pour longueurs d'ondes limites 0μ,38 et 0μ,76, mais l'infra-rouge s'étend pour ainsi dire indéfiniment vers les radiations moins réfrangibles, donnant une chaleur sensible au bolomètre de Langley jusqu'aux ondes de 30μ de longueur, et embrassant par conséquent plus de cinq octaves de radiations lumineuses. Quand on trace la courbe d'énergie des spectres, en portant en abscisse les longueurs d'onde et en ordonnée l'intensité des radiations, on constate qu'elle ne présente qu'un seul maximum, généralement situé à l'entrée de l'infra-rouge, mais qui se déplace progressivement et avance vers la région la plus réfrangible à mesure que la température du foyer augmente ; cette courbe n'est pas symétrique par rapport à l'ordonnée maxima, et la majeure partie de son aire se trouve du côté du spectre calorifique obscur. Une forte proportion de l'énergie appartient donc à ces radiations invisibles et chaudes : voilà pourquoi les foyers de lumière sont tous aussi des foyers de chaleur, dont le rendement photogénique est extrêmement faible. J'ai calculé ce rendement dans une Note insérée aux *Comptes rendus* (1), en 1891.

« Améliorer ce rendement serait une découverte scientifique considérable : un grand nombre de chercheurs en ont fait l'objectif de leurs investigations.

« Il a semblé à quelques-uns que la solution du problème pourrait être fournie par des sources luminescentes, telles que des tubes de Geissler, dans lesquelles la température du gaz raréfié est comprise entre 21° et 132°, d'après de récentes expériences de M. Warburg ; qui rayonnent il est vrai peu de lumière, mais dont l'émission calorifique est plus faible encore.

« En attendant qu'on puisse construire la courbe d'énergie du spectre discontinu fourni par ces foyers, ce qui présentera d'extrêmes difficultés, je me suis proposé de mesurer la quantité d'énergie nécessaire pour illuminer ces tubes.

« La luminescence des tubes est réalisée, soit par les courants de haute tension donnés par des appareils d'induction volta-faradique, soit par les courants débités par une machine de Holtz ; dans le premier cas, on peut déterminer les watts consommés dans le tube ; dans le second, on mesure les kilogrammètres dépensés pour faire mouvoir la génératrice d'électricité à vide et en charge.

« J'ai opéré sur plusieurs tubes, et notamment sur une lampe destinée aux mineurs et sur un tube de médecin, utilisé pour éclairer les cavités profondes.

---

(1) Il arrive parfois, mais très rarement, qu'au voisinage du potentiel explosif de I_1I_2 on observe, en apparence du moins, des étincelles simultanées en E_1E_2 et I_1I_2 ; ces faits se présentent quand la charge est moins régulière que dans les expériences décrites.

Ces observations rentreraient dans la loi de M. Jaumann, si l'on pouvait les reproduire systématiquement ; je continue leur étude.

(2) Institut de Physique de la Faculté des Sciences de Lille.

(3) *Comptes rendus*, t. CXX, p. 306.

(1) *Comptes rendus*, t. CXII, 29 juin 1891.

« La lampe des mineurs s'illumine sans peine par le courant d'induction d'une petite bobine de Ruhmkorf, donnant 20 mm. d'étincelle ; elle fournit alors assez de lumière pour permettre de lire une Table de logarithmes, à une distance de 40 cm. de la source. M. Langley s'est contenté de cette mesure photométrique fort rudimentaire ; la teinte blafarde de la lumière ne se prête pas aux méthodes habituelles de comparaison, qui sont la base de la Photométrie. Or, j'ai constaté entre les électrodes terminales une différence de potentiel de 4190 volts, le courant ayant alors une intensité de 0,27 milliampère, ce qui fait 1,13 watt. L'énergie consommée est grande relativement à la lumière produite : on pouvait s'attendre à un rendement supérieur.

« Les résultats obtenus avec une machine de Holtz sont plus intéressants : j'ai utilisé le dynamomètre de transmission de Hirn pour mesurer le travail nécessaire pour faire faire en moyenne 726 tours par minute au plateau de verre de la machine, dans les diverses conditions qui suivent :

	Marche				
	à vide.	en circuit fermé sur la machine.	Étincelles de 145mm, 8 par seconde.	Lampe des mineurs.	Tube de médecin.
Travail en kilogrammètres par seconde	1,043	1,785	2,174	1,711	1,763

« L'illumination de la lampe des mineurs coûte donc

$$1,711 - 10,43 = 0^{\text{kgm}},668,$$

soit 6,6 watts. Le rendement est moindre encore que ci-dessus ; l'incandescence d'une lampe à filament de charbon, dans le vide, ne coûte que 3 watts par bougie ; notre lampe des mineurs absorbe plus d'énergie et donne beaucoup moins de lumière ; c'est un mode d'éclairage ruineux.

« Et pourtant, la quantité de chaleur rayonnée est faible.

« Ayant, en effet, plongé le tube de médecin dans un calorimètre, nous avons observé un dégagement de 0 cal. 00033 par seconde, ce qui correspond à

$$0,00033 \times 425 = 0^{\text{kgm}},140.$$

Or l'illumination de ce tube coûte 0 kgm., 720 ; la chaleur produite ne correspond donc qu'au cinquième de l'énergie dépensée. A ce point de vue, aucun autre foyer de lumière ne donne un aussi heureux résultat.

« Les chiffres que nous produisons ne constituent évidemment qu'une première indication, car ils varient avec la nature et la forme des tubes employés, et ils n'ont rien d'absolu. Mais on peut retenir de nos expériences que, dans l'éclairage par luminescence, la proportion de l'énergie calorifique par rapport à l'énergie totale est plus faible que dans tout autre foyer. En réduisant au minimum les pertes d'électricité, en concentrant la lumière dans un espace restreint, en utilisant la fluorescence de certaines substances, en inventant certains dispositifs spéciaux, on peut espérer réaliser des foyers dont le rendement photogénique sera meilleur que celui de nos meilleures sources de lumière. La luminescence à basse température donne, pour le moment, de très médiocres résultats ; mais du moins permet-elle de réduire la partie invisible et inutile des spectres d'émission. »

Sur la détermination des constantes électriques de l'eau, par G. Gouré de Villemontée [1].

L'eau est le liquide dont les propriétés électriques : résistance, différence de potentiel au contact avec les métaux, ont été l'objet du plus grand nombre d'expériences ; malgré ces tentatives, l'eau est le liquide dont les propriétés électriques sont le moins déterminées. Dans sa Note l'auteur rappelle les recherches faites sur ces deux sujets et indique les motifs des divergences entre les résultats des différents observateurs.

Il est d'ailleurs très bref sur les méthodes appliquées pour mesurer la résistance de l'eau et renvoie, pour plus amples renseignements, au beau travail fait sur ce sujet, il y a une dizaine d'années, par M. Foussereau. Rappe-

(1) *Journal de physique*, 3e série, t. IV, p. 293, juillet 1895.

lons que ce dernier a constaté que la résistance de l'eau varie : 1° avec la provenance; 2° par addition de traces de matières dans l'eau avant la distillation; 3° avec la durée du séjour de l'eau distillée dans les vases où on la conserve; 4° avec la température de 17 degrés à 32°,5; 5° par suite du contact avec l'air; 6° avec des traces de matières ajoutées à l'eau distillée (¹).

Passant ensuite à la détermination de la différence de potentiel au contact d'un métal et de l'eau ou d'une solution aqueuse, l'auteur montre que les nombreuses expériences faites jusqu'ici dans ce but ne remplissent pas les conditions indispensables pour obtenir des résultats précis et concordants.

Cette discussion l'a amené à reprendre la détermination de la différence de potentiel entre le cuivre et l'eau par une méthode de zéro, déjà utilisée dans ses travaux antérieurs et qui lui paraissait remplir les conditions requises.

Cette méthode, que l'auteur désigne sous la méthode du *condensateur*, consiste à former un condensateur avec le liquide L contenu dans un cristallisoir et un plateau du métal à étudier M suspendu horizontalement à une petite distance au-dessus de la surface libre du liquide. Ce plateau est mis en communication métallique avec un fil du même métal plongé dans le liquide. L'un des points du circuit est constamment relié au sol; un autre peut être relié à l'un des pôles d'une pile dont l'autre pôle est relié au sol. Quand le circuit de la pile est rompu, la seule différence de potentiel qui existe entre les extrémités de la chaîne reliant les armatures du condensateur est la différence de potentiel au contact M | L; en rompant la chaîne et mettant le plateau M en communication avec un électroscope très sensible, on constatera la charge de M. On reforme alors la chaîne et le condensateur et l'on cherche la différence de potentiel qu'il faut intercaler entre les points de la chaîne dont il a été question plus haut pour obtenir sur le plateau M une charge nulle; la différence de potentiel ajoutée est égale et de signe contraire à la différence de potentiel cherchée M | L.

Les premiers essais faits par cette méthode ont montré que les vases dans lesquels est placée l'eau, ainsi que les supports isolants des vases ont une influence considérable sur les résultats. En réduisant cette influence le plus possible, en évitant tout contact des vases et en employant des cales isolantes très étroites, l'auteur a néanmoins trouvé, pour la différence de potentiel Cu | Aq, des valeurs variant de 0 volt à 0,173 volt, les cuivres étant cependant tous identiques entre eux (obtenus par électrolyse) et l'eau distillée prise dans le même réservoir.

Ces résultats montrant que la méthode du condensateur métal-eau ne convient pas pour la détermination de la différence de potentiel au contact, M. Gouré de Villemontée employa la méthode d'*écoulement*.

Rappelons que cette méthode consiste à faire écouler goutte à goutte le liquide L par l'extrémité d'un entonnoir de verre parfaitement isolé et placé suivant l'axe d'un cylindre vertical formé du métal M. Une tige de même métal, plongée dans le liquide de l'entonnoir, est reliée à l'une des armatures d'un condensateur dont l'autre armature est reliée au cylindre. Ces armatures sont formées du métal M. L'un des points du circuit qui aboutit au cylindre peut être porté à divers potentiels en la joignant à un des pôles d'une pile dont l'autre pôle est relié au sol et à un second point du circuit dont on vient de parler.

Quand le circuit de la pile est rompu, les armatures du condensateur présentent une différence de potentiel L | M, et ces armatures sont chargées ainsi qu'on peut le constater en isolant l'une d'elles et la mettant ensuite en communication avec un électroscope.

Quand le circuit de la pile est fermé, la différence de potentiel des armatures est égale à la précédente augmentée ou diminuée de celle

(¹) Ces résultats ont été publiés dans *la Lumière Electrique* (t. XIII, p. 188, 2 août 1884), d'après une communication faite à la séance du 26 mai 1884 de l'Académie des sciences.

qui existe entre les points reliés aux pôles de cette pile. Par conséquent si l'on fait varier cette dernière jusqu'à ce que le condensateur ne soit plus chargé, la valeur de cette différence de potentiel donne L|M.

Au moyen de cette méthode, l'auteur a fait cinq séries d'expériences sur le cuivre et l'eau distillée; les quatre premières, faites avec de l'eau distillée de même provenance, avaient pour but de rechercher l'effet du contact de l'eau avec l'atmosphère; dans une dernière série, l'auteur a comparé les valeurs de Cu|Aq obtenue avec de l'eau distillée de différentes provenances. Le cuivre employé dans toutes ces expériences était obtenu par dépôts galvaniques. Les résultats ont été les suivants :

« 1° *Influence de la durée d'exposition de l'eau à l'air dans le réservoir d'où s'écoule le liquide et dans lequel le cuivre est plongé.* — La durée d'immersion du cuivre dans l'eau étant la même dans chaque expérience et comprise entre dix et vingt minutes, les valeurs de Cu|Aq varient comme il suit :

Durée du séjour de la même eau distillée dans les réservoirs jours.	Valeur de différence Cu | Aq volt.
1	+ 0,000
6	+ 0,109
7	+ 0,177
10	+ 0,179

« 2° *Influence de la filtration.* — La durée d'immersion du cuivre et les autres conditions de l'expérience étant les mêmes, les valeurs de la différence Cu|Aq ont été

	volt.
Avant la filtration.	+ 0,051
Après filtration à travers papier blanc	+ 0,200

« 3° *Comparaison de la valeur trouvée pour la différence* Cu|Aq, en employant : 1° de l'eau distillée neuve; 2° de l'eau distillée qui a servi à une première expérience; qui, par suite, a été séparée en gouttes très fines à l'orifice du tube d'écoulement, toutes les précautions relatives au nettoyage des vases étant rigoureusement observées.

	Valeur de la différence Cu | Aq volt.
1° Eau distillée neuve	+ 0,051
2° Après le passage à travers l'orifice du tube	+ 0,137
3° Eau recueillie après la seconde expérience, maintenue en ébullition et refroidie. . . .	+ 0,012

« 4° *Influence du passage d'un courant gazeux à travers l'eau.*

	Valeur de la différence Cu | Aq volt.
1° Eau distillée neuve	+ 0,051
2° Eau distillée traversée par un courant d'air filtré à travers un tampon de ouate .	+ 0,061
3° Eau distillée traversée par un courant d'oxygène	+ 0,045
4° Eau distillée traversée par un courant d'azote.	0,000

Toutes les expériences des quatre séries précédentes ont été faites avec de l'eau distillée fournie par la Pharmacie centrale de Lyon.

« 5° *Comparaison de l'eau distillée de différentes provenances.*

Provenance	Durée d'immersion du cuivre	Valeur de la différence Cu | Aq volt.
Eau distillée de la Pharmacie centrale de Lyon.	10m à 20m	0,000
	24 h.	+ 0,012
Eau distillée au Laboratoire	27m	— 0,277
	24 h.	— 0,304

« Aucune trace d'impureté n'a pu être reconnue dans l'eau distillée au laboratoire, avec les réactifs chimiques.

« La différence de potentiel, déterminée dans toutes les expériences précédentes, est en réalité la différence de potentiel au contact de l'air ou, en désignant par I l'air dans lequel l'écoulement a lieu, la quantité mesurée est

$$I \mid Cu + Cu \mid Aq + Aq \mid I.$$

« On pourrait objecter que les différences des résultats obtenus sont dues aux termes extrêmes de la somme. Sans pouvoir répondre par des expériences faites à l'abri de l'air, je ferai remarquer que cette hypothèse est très peu probable pour les deux motifs suivants : 1° Dans les différentes expériences, j'ai laissé l'air dans des conditions aussi identiques que

possible, tandis que j'ai cherché à modifier l'état de l'eau; 2° lorsqu'on détermine la différence de potentiel, au contact du cuivre et d'une dissolution de sulfate de cuivre dans l'eau distillée, la somme

I | Cu + Cu | Diss. + Diss. | I

varie très peu avec la nature du milieu dans lequel l'écoulement de la dissolution se produit [1]; les variations observées sont beaucoup inférieures aux différences signalées plus haut.

« Les expériences de M. Ostwald [2] faites par une méthode différente, sur des dissolutions extrêmement diluées, montrent d'ailleurs l'influence considérable due à des traces d'acide ou de substances que l'analyse chimique ne peut déceler.

« Les expériences de M. Paschen [3] montrent également l'influence très grande de traces de matières étrangères dans l'eau.

« En rapprochant ces faits je conclus que l'eau distillée n'est pas un liquide défini, que l'eau ordinaire est un liquide encore plus complexe que la résistance de l'eau et la différence de potentiel d'un métal au contact de l'eau ne sont pas des constantes physiques, comme le peuvent être ces mêmes quantités lorsque le liquide est une dissolution saline ou un liquide défini. »

Méthode pour déterminer le coefficient de self-induction d'une bobine, par Wladimir de Nikolaieve.

Dans le dernier numéro du *Journal de Physique* [4], M. Sagnac résume comme il suit le mémoire de l'auteur :

« La bobine, fermée sur elle-même, est suspendue dans l'espace interpolaire de deux bobines fixes parcourues par un courant sinusoïdal (ou à l'intérieur d'une seule bobine), son axe étant à 45 degrés du champ alternatif. On met à la terre les points des bobines fixes les plus rapprochés de la bobine suspendue, afin de supprimer l'action des charges électriques.

« On excite le champ par des courants de différentes intensités et de différentes périodes; on mesure les déviations correspondantes de la bobine mobile et l'on trace, pour chaque période T de l'alternateur, la courbe des déviations Δ en fonction de l'intensité électrodynamométrique i du courant sinusoïdal.

« Le couple qui produit la déviation de la bobine suspendue est proportionnel à

$$F_0^2 \sin^2 2\pi\varphi = F_0^2 \frac{\left(\frac{2\pi L}{rT}\right)^2}{1+\left(\frac{2\pi L}{rT}\right)^2},$$

où φ désigne le retard de phase du courant induit dans la bobine mobile [1].

« Les courbes de déviations relatives aux périodes T' et T'' permettent de déterminer deux intensités efficaces i' et i'' pour lesquelles les déviations sont les mêmes. Les couples correspondants étant alors égaux, on a

$$F_0'^2 \frac{\left(\frac{2\pi L}{rT'}\right)^2}{1+\left(\frac{2\pi L}{rT'}\right)^2} = F_0''^2 \frac{\left(\frac{2\pi L}{rT''}\right)^2}{1+\left(\frac{2\pi L}{rT''}\right)^2}$$

et comme pour les mêmes portions de la bobine suspendue

$$\frac{F_0'}{F_0''} = \frac{i'}{i''},$$

on a pour calculer L la formule

$$L = \frac{r}{2\pi}\sqrt{\frac{T'^2 - \left(\frac{i'}{i''}\right)^2 T''^2}{\left(\frac{i'}{i''}\right)^2 - 1}}.$$

« On calculera L comme une moyenne à

(1) Gouré de Villemontée. *Journal de physique*, 2e série, t. IX p. 78 et t. X, p. 76.

(2) Ostwald, *Zeitschr für physikalische Chemie*, t. I, p. 583; 1887.

(3) Paschen. *Wied. Ann.*, t. XLI, p. 117, 1890 et t. XLIII, p. 568; 1891.

(4) 3e série, t. IV, p. 364.

(1) Voir W. de Nikolaieve. — *Deux méthodes pour découvrir et étudier les courants dans un circuit conducteur ouvert et les courants de déplacement dans un diélectrique* (*Journal de Physique*? 3e série, t. IV, p. 245).

Dans une communication faite à l'Académie des Sciences (*C. R.* t. CXIX, p. 469, 3 septembre 1894) et reproduite dans ce journal (t. I, p. 223, 13 octobre 1894), l'auteur indiquait le principe de ces méthodes et don-

l'aide des divers couples de déviations égales correspondant à des intensités et à des périodes différentes.

« L'auteur a appliqué cette méthode avec l'appareil, décrit dans l'article précédent, où l'anneau d'Elihu Thomson plongeait dans l'eau. La mesure des déplacements D de l'anneau remplaçait celle des déviations de la bobine. Le tableau suivant donne les déplacements D de l'anneau, exprimés en centimètres qui correspondent aux intensités efficaces i, exprimées en divisions de l'électrodynamomètre, pour 549 tours et 732,2 tours par seconde de l'alternateur :

549 tours	i . .	38,29	»	42,9	»	47,0	»	54,0	»	63,4	74,7	91,2
	D . .	1,27	»	3,00	»	4,63	»	6,4	»	8,18	9,7	11,68
732,2 tours	D . .	1,48	2,52	3,00	3,77	4,58	5,53	6,53	7,43	8,33	9,23	10,23
	i . .	39,0	39,7	41,2	43,0	44,7	46,5	49,7	52,1	55,3	60,0	65,1

« Le tracé des deux courbes des déplacements D pour les intensités i a permis de déterminer les divers couples i', i'' d'intensités qui correspondent à un même déplacement, i' se rapportant à 549 tours et i'' a 732,2. Les premières parties des courbes ont donné ainsi les couples i', i'' qui suivent :

i'	i''	$\frac{i'}{i''}$
42,125	40,0	1,053
43,125	41,0	1,051
44,30	42,15	1,051
46,50	43,25	1,052

où $\frac{i'}{i''}$ est presque constant et a servi à calculer L.

« On a trouvé L = 458,95 C. G. S. L'anneau ayant 0,42 cm. de largeur, 0,75 cm. de hauteur et 1,77 cm. de rayon moyen, son coefficient de self-induction dans l'air, calculé par la formule de Maxwell, a été trouvé égal à 46 C. G. S., c'est-à-dire dix fois moindre qu'au voisinage du noyau de fer. Le calcul des retards de courants induits dans l'anneau donne 68° 19′ 50″ pour 732,2 tours de l'alternateur et 62° 4′ 48″ pour 549 tours.

« Des mesures, faites en plaçant l'anneau ou la bobine mobile entre deux bobines fixes sans noyau, donneront les coefficients de self-induction dans l'air loin de toute masse perméable de fer, et l'on pourra vérifier alors la formule théorique ».

---

nait l'expression du couple agissant sur un anneau diélectrique suspendu dans le champ des bobines. L'expression ci-dessus du couple agissant sur une bobine, ou, plus simplement, sur un conducteur annulaire, s'établit comme il suit :

Le champ

$$F_m = F_0 \sin 2\pi \frac{t}{T}$$

envoie à travers l'anneau un flux

$$Q_m = NF_m$$

dont les oscillations produisent la force électromotrice d'induction

$$\mathcal{E} = \frac{dQ_m}{dt} = NF_0 \frac{2\pi}{T} \cos 2\pi \frac{t}{T},$$

qui produit dans l'anneau de résistance r et de coefficient de self-induction L un courant i tel que

$$ri + L\frac{di}{dt} = \mathcal{E}.$$

Par conséquent

$$i = A \cos 2\pi\left(\frac{t}{T} - \varphi\right)$$

avec

$$\operatorname{tang} 2\pi\varphi = \frac{2\pi L}{rT} \qquad \text{et} \qquad A = \frac{NF_0}{L} \sin 2\pi\varphi.$$

Le flux secondaire émis par l'anneau à travers le fer des extrémités polaires est

$$q_m = iL = NF_0 \sin 2\pi\varphi \cos 2\pi\left(\frac{t}{T} - \varphi\right).$$

Le moment du couple moteur, à chaque instant proportionnel à q^2_m, a pour valeur efficace

$$\Gamma = C\frac{1}{T}\int_0^T q_m^2\, dt = \frac{PF_0^2}{2}\sin^2 2\pi\varphi = PF_0 \frac{\left(\frac{2\pi L}{rT}\right)^2}{1 + \left(\frac{2\pi L}{rT}\right)^2}.$$

CHRONIQUE

CHRONIQUE DES COUPS DE FOUDRE [1]

Les cas de foudroiement entraînant la mort, presque toujours instantanée, sont malheureusements très fréquents cette année.

Souvent c'est en cherchant refuge sous les arbres que les campagnards s'exposent au danger. C'est ainsi que le 10 juin, près de Saint-Quentin, plusieurs personnes s'étaient mises à l'abri sous des arbres, lorsque la foudre éclata ; une femme tomba foudroyée ; elle portait une forte trace de brûlure à la poitrine et au ventre ; ses vêtements étaient intacts. L'écorce de l'arbre avait été en partie enlevée. Un domestique qui se trouvait de l'autre côté de l'arbre, a échappé à la mort ; mais il ressentit une terrible secousse et fut projeté à environ 10 m. Après avoir repris connaissance, il fut pris d'un tremblement continu. Un autre domestique a ressenti une forte commotion et a été soulevé à 1 m. de hauteur. La fille de la victime, qui se trouvait également sous un arbre, n'a pas été atteinte.

Mais, quoi qu'on en ait dit, on ne peut écarter d'une façon certaine le danger quand, surpris par l'orage en pleins champs, on se laisse tremper par la pluie. La preuve nous en est fournie par différents accidents mortels qui se sont produits dans ces conditions, à Nîmes, à Mansle (Charente), à Rodez, près de Melun, etc.

Assez fréquemment encore, la foudre tombe au seuil des habitations. On nous cite des accidents de ce genre à Chambois (Puy-de-Dôme), à Porrentruy, à Cléry (Loiret). Dans les deux premiers cas, une personne a été foudroyée au milieu d'un groupe d'autres personnes qui n'ont ressenti qu'une commotion.

Les effets produits par la foudre à l'intérieur des maisons sont souvent bizarres. A Périgueux, un homme est foudroyé au moment où il se dispose à se mettre au lit. Sa femme, qui était à côté de lui, et ses deux fils, qui couchaient dans la même pièce, n'ont rien ressenti.

La foudre a pénétré dans la demeure en pratiquant dans la porte d'entrée un petit trou d'un centimètre et demi ; quelques éclats de bois ont été retrouvés tout près de la porte ; il n'y a pas eu d'autres dégâts matériels.

[1] Voir le numéro précédent.

A Hazebrouck (Nord), une briqueterie est atteinte ; deux ouvriers sont tués, cinq autres blessés. La table sur laquelle tous travaillaient a été pulvérisée. La pratique surannée consistant à faire sonner les cloches des églises « pour éloigner l'orage » a causé un accident à Pure, dans les Ardennes, De deux enfants de chœur occupés à cet exercice, l'un a été tué sur le coup par la foudre, l'autre a reçu des brûlures qui mettent ses jours en danger.

Les lignes électriques aériennes sont atteintes moins souvent qu'on ne pourrait le croire, ou tout au moins, les parafoudres dont elles sont toutes munies ont-ils une action préservatrice efficace. Il y a deux mois on a signalé une extinction complète de l'éclairage sur les circuits alimentés à Rome par l'usine de Tivoli ; la cause de l'extinction était un coup de foudre qui avait frappé la ligne de transmission principale.

Le mois dernier, une ligne téléphonique près de Lausanne a été atteinte. Les parafoudres ainsi que les appareils téléphoniques du voisinage immédiat ont été détruits. Une personne qui se trouvait à proximité de son appareil a reçu une forte commotion ayant causé une paralysie passagère.

Quant aux chances de foudroiement des cheminées et des foyers d'usine, voici les conclusions d'une enquête faite sur ce sujet par les autorités allemandes :

1° La foudre frappe rarement une cheminée de façon à causer des dégâts appréciables ;

2° La foudre frappe les cheminées aussi bien avec que sans paratonnerres. Néanmoins cela arrive plus souvent que dans ce dernier cas ;

3° La foudre semble tomber de préférence dans les endroits bas et marécageux plutôt que dans les terrains élevés et secs ;

4° On ne connaît qu'un seul exemple d'une chaumière endommagée gravement par la foudre.

Les incendies allumés cet été par la foudre sont nombreux. Les tas de gerbes dans les champs, les fermes isolées y sont le plus exposés. Dans les villes, c'est souvent en suivant les canalisations de gaz que l'électricité atmosphérique occasionne des incendies. Nous ne donnerons pas ici toute la liste de ces accidents. Notons seulement le cas d'une distillerie et fabrique d'huiles, dans le Nord, où un grand dépotoir atteint par la foudre a été incendié. A signaler aussi l'incendie allumé dans les mêmes conditions dans les immenses réservoirs de pétrole de Harburg, près de Hambourg,

et enfin, la catastrophe causée en mai par la foudre frappant en pleine mer un navire américain chargé de pétrole, et y mettant le feu.

Il nous reste à relater quelques-uns des accidents les moins banals parmi ceux, en grand nombre, qui nous ont été signalés.

En voici d'abord quelques-uns ayant causé plus de peur que de mal. A Cenon (Haute-Vienne), la foudre pénètre dans une maison, atteint et blesse légèrement une femme, et renverse un enfant de quatre ans, qui se relève sans aucun mal. A Port-Brillet (Maine-et-Loire), elle traverse une maison et creuse un trou sous un berceau d'enfant, sans que l'enfant ait éprouvé le moindre mal. A Saujon (Gironde), la foudre pénètre dans la maison d'un garde-barrière par le tuyau de la cheminée qu'elle démolit. Dans la pièce, se trouvent l'employé, sa femme et ses enfants ; la chaise sur laquelle se trouvait la femme a été brûlée, ses jupes ont été roussies ; mais la famille en a été quitte pour une frayeur bien compréhensible.

Dans l'Eure, un homme qui se trouvait sur le seuil de sa porte, a été grièvement brûlé sans que ses vêtements présentassent de trace apparente, sauf sa botte droite, dont le talon a été déchiqueté sans que le pied fût blessé. Le même coup de foudre a mis le feu à plusieurs bâtiments et a fait des ravages dans le poulailler. Quatre poules étaient tuées sur le coup, tandis que les autres en étaient quittes pour la peur ; mais par un singulier phénomène, toutes celles qui avaient échappé à la mort avaient le cou et la tête complètement dépouillés de leurs plumes.

Non moins bizarre est le cas d'un taureau à Loiré (Maine-et-Loire), que la foudre a littéralement décapité.

Dans ce même département, le même jour, avaient lieu à Vergonnes, les obsèques d'une jeune femme. Les parents et amis étaient réunis à l'église, quand la foudre a atteint le clocher, enlevant la moitié de la couverture. La foule, prise de peur, s'enfuit, laissant seule la défunte à l'église et deux ou trois blessés.

Les églises sont d'ailleurs visitées assez fréquemment. De Pennsylvanie, on signale, par exemple, que l'église de Quakertown a été frappée pendant le service divin et qu'une vingtaine de personnes ont été blessées grièvement.

Près de Thionville, une vingtaine de personnes s'étaient refugiées sous le porche d'une église, lorsque la foudre tomba sur le clocher. Toutes les personnes furent projetées sur le sol et perdirent connaissance, plusieurs furent blessées grièvement.

De Berlin, on a annoncé le mois dernier, que la foudre venait de tomber sur une tente au camp de Senne, près de Paderborn. La tente foudroyée était occupée par neuf soldats. Tous ces hommes ont été étourdis par le choc, mais huit d'entre eux se sont bientôt remis, le neuvième seul est resté paralysé.

La paralysie dans ces sortes d'accidents est d'ailleurs rarement permanente, mais elle dure quelquefois assez longtemps. Les médecins, et principalement M. d'Arsonval, ont insisté sur ce fait que la mort par foudroiement est causée souvent par l'asphyxie résultant de la paralysie des mouvements pulmonaires. Aussi, des soins énergiques capables de rétablir la respiration si l'asphyxie n'est pas complète, permettent-ils quelquefois de rappeler à la vie les foudroyés.

Au mois de juin, la foudre tomba sur une maison en construction à Choisy-le-Roi, et atteignit trois des maçons qui tombèrent inanimés. On se hâta de leur donner des soins énergiques et patients, qui les rétablirent complètement.

De même à Plumelec (Loire-Inférieure) une femme avait été renversée par la foudre et ne donnait plus signe de vie. Après une heure et demie de soins intelligents, cette femme a pu être en quelque sorte ressuscitée.

RÈGLEMENT MUNICIPAL
CONCERNANT LES
INSTALLATIONS ÉLECTRIQUES INTÉRIEURES

Le préfet de la Seine, — Vu le rapport, en date du 3 juillet 1895, par lequel M. le directeur administratifs des Travaux propose de réglementer les installations électriques desservies par le réseau municipal et ceux des compagnies concessionnaires de la ville de Paris;

Vu le cahier des charges général, approuvé par délibération du Conseil municipal, en date des 29 décembre 1888 et 25 février 1889, et notamment l'art. 10, § 2, portant que les concessionnaires seront soumis d'une manière générale, pour l'exploitation de leur réseau, à tous les règlements et arrêtés qui seront en vigueur pendant la durée de l'autorisation, — Arrête :

Conditions générales. — Article premier. — Les installations électriques alimentées par un con-

cessionnaire de la ville de Paris devront satisfaire aux conditions techniques ci-après indiquées, tant au moment de leur établissement qu'à une époque quelconque de leur fonctionnement.

Résistivité des câbles et fils. — Art. 2. — Le métal entrant dans la constitution des câbles et fils aura une résistivité au plus égale à 1,80 microhm cm. à 20° centigrades.

Sections des conducteurs. — Art. 3. — La section métallique des conducteurs devra toujours être suffisante pour que le passage accidentel d'un courant d'une intensité double de la normale ne détermine pas un échauffement supérieur à 40°. En tout cas, la densité du courant ne devra pas dépasser :

3 ampères par millimètre carré pour des sections de 1 à 5 m/m^2.

2 ampères par millimètre carré pour des sections de 5 à 50 m/m^2.

1 ampère par millimètre carré pour des sections au-dessus de 50 m/m^2.

Dans le cas d'emploi de fils nus, les chiffres indiqués ci-dessus pourront être doublés.

Enfin on n'emploiera aucun conducteur dont l'âme serait formée par un fil unique d'un diamètre inférieur à 9/10 de millimètre.

Isolation et protection mécanique des câbles et fils. — Art. 4. — En dehors des tableaux de distribution, tous les câbles et fils seront à la fois isolés électriquement et protégés mécaniquement.

L'enveloppe des câbles et fils devra être assez solide pour résister aux détériorations pouvant résulter du montage. Elle sera de nature à ne jamais attaquer l'âme métallique.

Pour les fils posés dans des locaux humides, l'enveloppe devra être imperméable.

Coupe-circuits. — Art. 5. — Les coupe-circuits doivent être disposés de telle sorte que la fusion d'un fil fusible ne détermine pas de court-circuit.

La température de ces appareils devra, en régime normal rester assez basse pour qu'il soit possible d'y maintenir la main.

Les fils fusibles doivent être faciles à remplacer et ne pas donner lieu à des projections de métal fondu. Ils devront fondre pour une intensité de courant au plus égale au triple de l'intensité normale.

Interrupteurs. — Art. 6. — La matière isolante formant la base des interrupteurs devra être appropriée à la nature de l'emplacement qu'ils occuperont. Les interrupteurs ne devront pas s'échauffer par le passage du courant. Ils devront toujours rester à une température telle qu'il soit possible d'y maintenir la main.

La longueur de rupture dans l'air sera telle qu'il ne pourra se former d'arc permanent.

Branchements particuliers. — Art. 7. — Chacun des fils du branchement d'arrivée sera muni d'un coupe-circuit et d'un moyen d'interruption.

Si ce circuit d'arrivée dessert un poste de transformateur, un deuxième coupe-circuit et un deuxième moyen d'interruption seront installés sur chacun des fils du circuit secondaire aboutissant au compteur.

Une plaque extérieure signalera les immeubles dans lesquels il sera fait usage de canalisations électriques et indiquera la position du branchement.

Installation de dynamos réceptrices, de transformateurs et d'accumulateurs. — Art. 8. — Lorsqu'il sera fait usage de dynamos réceptrices, de transformateurs ou d'accumulateurs, ces appareils devront être disposés de façon à éviter tout accident.

Des précautions spéciales seront prises pour les isoler et les mettre hors de la portée des personnes qui ne sont pas appelées à s'en servir.

Les locaux affectés en particulier aux accumulateurs devront être convenablement ventilés.

Si l'on emploie une différence de potentiel primaire dépassant 800 volts en courant continu, ou 500 volts en courant alternatif, l'installation secondaire devra être protégée efficacement contre l'éventualité d'un contact entre les deux circuits.

Circuits de distribution. — Art. 9. — Des dispositions seront prises pour que chacune des parties d'une installation puisse être facilement distinguée et isolée de l'ensemble.

Chaque circuit sera pourvu à son origine d'un double coupe-circuit, chaque branchement en sera également pourvu ; de même chaque subdivision dans laquelle l'intensité peut atteindre 5 ampères. Ce coupe-circuit devra être facilement accessible et mis à l'abri des matières inflammables.

Pose des câbles et fils. — Art. 10. — Les moyens employés pour fixer les canalisations devront à la fois assurer leur isolation et éviter toute détérioration des câbles et fils.

Aux croisements des masses métalliques, il y aura un supplément d'isolement et de protection mécanique.

A la traversée des murs et plafonds, la protection mécanique sera formée d'un tube en matière dure, à angles arrondis.

En outre, une gaine isolante supplémentaire devra recouvrir le fil et déborder les extrémités du tube.

Il sera placé un coupe-circuit unipolaire à l'un des points d'attache d'un fil souple à deux conducteurs desservant un appareil mobile.

Epissures. — Art. 11. — Dans les parties de câbles destinées à être reliées par une épissure, le décapage se fera au moyen de substances qui n'altèrent ni le métal ni l'isolant; l'emploi des acides est proscrit. Les épissures ne devront affaiblir ni l'âme métallique, ni l'enveloppe isolante, ni l'enveloppe de protection mécanique.

Moulures. — Art. 12. — La moulure ne devra présenter aucune discontinuité dans les angles, courbes et raccords.

Les angles des rainures devront être arrondis à chaque changement de direction. Les câbles et fils ne devront jamais être fixés dans les moulures au moyen de pointes ou de crochets. Les couvercles seront cloués avec grand soin et vissés si besoin est.

Appareillage. — Art. 13. — Le plus grand soin sera apporté dans l'équipement des lustres, bras appliques, etc.

Les conducteurs qui y seront placés seront supérieurement isolés; ils épouseront les formes des appareils le plus strictement possible.

Dans les lustres ayant cinq lampes et davantage, on devra éviter les épissures; les fils de chaque lampe seront de préférence réunis à la dérivation sur des couronnes métalliques munies de vis.

Les douilles y seront fixées de manière à ne pouvoir tourner. Elles seront, en outre, isolées électriquement de la masse des appareils.

Installation des lampes à arc. — Art. 14. — Chaque circuit d'arcs comprendra un interrupteur et, sur chaque pôle, un coupe-circuit.

En cas d'emploi de rhéostats, ces appareils seront placés dans un endroit abrité, aéré et loin de toutes matières inflammables; leur fil, qui sera calculé de manière à ne pas dépasser la température de 200° en fonctionnement normal, devra être séparé par une couche d'air d'au moins 5 centimètres du mur ou du tableau portant les rhéostats.

Ces appareils devront être montés sur une matière incombustible et non hygrométrique.

Les lampes à arc seront toujours pourvues d'enveloppes et de globes constituant une fermeture assez complète pour arrêter toutes projections d'étincelles.

Les lampes à arc placées à l'extérieur auront leurs bornes bien protégées de la pluie et des chocs.

Règles spéciales aux installations mixtes de gaz et d'électricité. — Art. 15. — Lorsque dans la même installation seront placés des tuyaux de gaz et des conducteurs électriques, il y aura lieu d'appliquer les règles spéciales suivantes :

a) Les appareils servant à la fois au gaz et à l'électricité seront toujours montés sur un raccord dont la résistance d'isolement sera au moins de 500 000 ohms et dont la disposition sera telle que les poussières et l'humidité ne puissent compromettre cette isolation;

b) Les fils placés sur les appareils servant à la fois au gaz et à l'électricité seront fortement isolés et protégés. En outre, ils seront assujettis, en épousant les formes de l'appareil, de manière à n'être pas détériorés par la chaleur du gaz.

Mode d'essai à détermination de la valeur d'isolement. — Art. 16. — Sur toute partie de conducteur pouvant être séparée de l'ensemble par la manœuvre d'un interrupteur où l'enlèvement d'un fil fusible, la résistance d'isolement, soit par rapport à la terre, soit par rapport au conducteur de nom contraire, exprimée en ohms, ne devra jamais descendre au dessous de 5 E 2, E étant la différence de potentiel en volts mesurée aux bornes extrêmes des appareils générateurs ou transformateurs du courant.

Dans les mesures d'isolement, la différence de potentiel employée devra être égale à E, sans toutefois dépasser 500 volts, ni descendre au-dessous de 100 volts.

Art. 17. — L'inspecteur général, directeur administratif des Travaux de Paris, est chargé de l'exécution du présent arrêté qui sera inséré au *Recueil des actes administratifs.*

Fait à Paris, le 26 juillet 1895.

POUBELLE.

L'Éditeur-Gérant : GEORGES CARRÉ.

Paris. — Imprimerie L. MARETHEUX, 1, rue Cassette.

Tome IV. Samedi 14 Septembre 1895. 2e Année. — N° 37.

L'Éclairage Électrique

REVUE HEBDOMADAIRE D'ÉLECTRICITÉ

DIRECTEUR SCIENTIFIQUE : J. BLONDIN

SECRÉTAIRE DE LA RÉDACTION : G. PELLISSIER

ÉLECTRO-CHIMIE (1)

PREMIÈRE LEÇON

LES LOIS GÉNÉRALES DE L'ÉLECTROLYSE

La découverte de la transformation d'une forme de l'énergie en une autre forme a souvent été suivie, au bout de peu d'années, par la découverte de la transformation inverse. L'histoire de l'électricité nous en montre plusieurs exemples frappants ; en particulier, c'est ainsi que très nettement s'est présenté le développement de l'Electrochimie qui fera l'objet de ces leçons : à peine Volta avait-il découvert, par l'invention de la pile, le moyen de transformer l'énergie chimique en énergie électrique, que Carlisle et Nicholson, par une expérience célèbre, obtinrent pour la première fois la transformation inverse de l'énergie électrique en énergie chimique.

C'est ce second point que seul nous étudierons dans ce qui va suivre; nous laisserons donc de côté l'application de la chimie à la production de l'énergie électrique ; mais au contraire nous étudierons avec quelque détail l'application de l'énergie électrique aux opérations chimiques.

Il y a deux manières de dépenser de l'énergie dans une opération chimique. On peut se proposer soit d'effectuer une combinaison endothermique, soit de décomposer une combinaison exothermique. C'est presque exclusivement sous cette dernière forme que, au moins jusqu'ici, a été appliquée l'énergie électrique. Les phénomènes électrochimiques que nous aurons à étudier seront donc en général des phénomènes de décomposition, d'analyse de substances composées.

Sous quelles formes prendrons-nous ces substances? Il est tout d'abord évident que nous devons écarter tous les isolants qui, ne pouvant pas livrer passage au courant, ne pourront être soumis à son action. Parmi les substances conductrices, nous pouvons essayer les solides et les liquides. L'expérience montre que les solides conducteurs, en général, ne subissent aucune altération chimique par le passage d'un courant (1). Restent les liquides. L'obligation de choisir des liquides conducteurs nous amène à en mettre de côté immédiatement un très grand nombre : les liquides de la chimie organique, les alcools, les éthers, etc., sont, en général, des corps isolants ; un grand nombre de ceux de la chimie minérale, les composés des métalloïdes entre eux, par exemple, l'anhydride sulfureux liquide, l'acide chlorhydrique liquide, les chlorures de phosphore, de soufre, etc., ne conduisent pas l'électricité.

(1) Conférences faites à l'Ecole d'Application du Laboratoire central d'Electricité les 24 et 27 juin ; 1er et 4 juillet.

(1) Voir cependant : WARBURG. Electrolyse du verre, *Wied. Ann.*, t. XXI, p. 622 ; LEHMANN. Électrolyse de l'iodure d'argent solide ; *Wied. Ann.*, t. XXIV, p. 1.

L'eau pure elle-même est dans le même cas, et à mesure que se perfectionnent les moyens employés pour la fabrication de l'eau distillée chimiquement pure, sa résistance spécifique augmente jusqu'à atteindre la valeur énorme de 1 mégohm-centimètre.

Notre choix est donc très restreint : il ne nous reste plus qu'une classe, à la vérité très nombreuse, de corps : les sels, les acides et les bases, que nous pourrons amener à l'état liquide, soit par voie de fusion, soit par voie de dissolution.

Si dans un tel liquide nous faisons passer un courant, nous trouvons que ce liquide est décomposé ; et le passage d'une quantité d'électricité aussi petite que l'on voudra, entraîne, d'une manière nécessaire, une action chimique corrélative. De tels liquides sont appelés des électrolytes, et le phénomène de leur décomposition par le courant porte le nom d'électrolyse.

Ainsi, dès maintenant, nous pouvons distinguer parmi les conducteurs deux classes de corps : les uns qui conduisent l'électricité sans être décomposés, les autres au contraire qui ne peuvent livrer passage à un courant sans subir une décomposition : nous dirons que les premiers possèdent la conductibilité métallique, les seconds la conductibilité électrolytique. Toutes les expériences faites jusqu'ici ont établi de la manière la plus nette cette séparation absolue entre les deux classes de corps : jamais on n'a observé de substance possédant *simultanément* les deux modes de conductibilité, c'est-à-dire dans lesquelles une partie du courant passerait sans action chimique, tandis que l'autre produirait une décomposition : aussi faut-il considérer comme absolument fausse, l'idée encore répandue qu'il est possible d'accroître la conductibilité d'un électrolyte par l'addition de certaines substances ne prenant pas part à l'action chimique du courant.

Pourquoi les sels fondus et les dissolutions salines, acides ou basiques sont-ils seuls électrolysés tandis que les autres liquides que nous avons cités plus haut ne le sont pas ? C'est là une question fort obscure, car il faudrait, pour la résoudre, connaître à la fois la nature intime des actions chimiques et du courant électrique.

On pourrait être tenté de dire, comme nous l'avons fait plus haut dans un premier aperçu, que les liquides non électrolysables ne le sont pas uniquement parce qu'ils sont aussi non conducteurs ; mais la tendance moderne est inverse, et bien qu'au premier abord la distinction semble un peu subtile, on a été amené à penser au contraire que les liquides non électrolysables ne sont pas conducteurs précisément parce qu'ils ne sont pas électrolysables ; il semble que, en adoptant cette idée, nous pénétrions plus profondément dans la nature des choses, comme nous essaierons de le montrer dans la suite de ces leçons.

Pour soumettre un liquide à l'électrolyse nous le ferons traverser par un courant au moyen de deux plaques conductrices, métalliques en général, portant le nom d'électrodes. L'électrode d'entrée du courant ou électrode positive se nomme souvent l'anode ; l'électrode de sortie ou électrode négative se nomme la cathode.

La première observation que nous ferons est la suivante : dans toute électrolyse, les produits de la décomposition apparaissent uniquement aux surfaces de contact des électrodes avec l'électrolyte. Si, par exemple, on électrolyse en employant des électrodes de platine, une dissolution d'acide sulfurique dans l'eau, de l'hydrogène apparaît sur la cathode, de l'oxygène sur l'anode, et rien dans l'espace intermédiaire.

Ce second fait, avec celui de la non-conductibilité des non-électrolytes, aura évidemment une haute importance dans toutes les théories de l'électrolyse

La nature même de l'expérience exige absolument que dans un appareil à décomposition électrolytique, il n'y ait que deux électrodes, une électrode d'entrée et une électrode de sortie ; les produits de la décomposition n'apparaissant que sur les électrodes, il est évident que, dans tous les cas, la décomposition devra

être forcément binaire; si nous représentons schématiquement en AB (fig. 1) le corps composé soumis à l'électrolyse, ce corps devra nécessairement, sous l'action du courant, se couper, se séparer en deux parties égales ou inégales A et B, l'une A qui se rendra à l'électrode de sortie, l'autre B qui se rendra à l'électrode

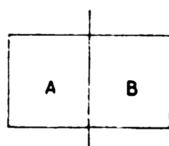


Fig. 1.

d'entrée. Ces deux parties constitutives d'un électrolyte s'appellent des *ions*; un électrolyte est donc composé de deux ions, l'un qui se rend sur l'anode, l'autre sur la cathode; on appelle le premier anion et le second cathion.

Comment se fait ce partage d'un électrolyte en deux ions? C'est à l'expérience de trancher la question. La méthode à suivre sera simple : soit V (fig. 2) un vase à décomposition ; les produits de l'électrolyse n'apparaissant qu'aux électrodes, on pourra trouver une couche MN où le liquide aura conservé une composition invariable ; séparant alors le liquide en deux parties, nous analyserons séparément les moitiés

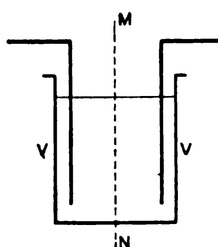


Fig. 2.

gauche et droite, avant et après le passage du courant; la différence entre la composition finale et la composition initiale donnera immédiatement la nature des produits de l'électrolyse. Cette méthode suppose essentiellement que les produits de la décomposition ne se diffusent pas peu à peu à travers le liquide de manière à venir se recombiner vers le centre du vase. On s'opposera à cette diffusion par des formes appropriées de l'appareil à décomposition.

Mais il y a une autre cause d'erreur beaucoup plus importante ; il peut arriver que les ions mis en liberté puissent réagir en vertu des lois chimiques ordinaires, soit sur la matière qui compose les électrodes, soit sur l'électrolyte, soit sur toute autre matière présente dans le vase à décomposition. Ces actions, qui n'ont pas l'électricité pour cause, portent le nom d'actions secondaires; elles sont la conséquence de la décomposition électrolytique, mais ne se confondent pas avec elle. Nous sommes donc ainsi amenés à distinguer dans l'électrolyse deux sortes d'actions : les actions primaires produites par l'électrolyse elle-même et les actions secondaires produites par des réactions chimiques ultérieures intervenant entre les corps mis en liberté.

Pour étudier la manière dont l'électrolyse décompose un corps en ses deux ions, nous devons évidemment nous attacher à écarter toute action secondaire. A ce point de vue, l'étude de l'électrolyse des sels fondus présentera un degré de simplicité plus grand que celle des sels dissous ; dans ces derniers, en effet, le dissolvant constitue un de ces corps sur lesquels les ions peuvent réagir par une action secondaire, et que, par suite, il vaut mieux écarter.

Prenons donc un sel fondu, et, pour simplifier prenons un composé binaire, le chlorure de plomb par exemple, électrolysé entre des électrodes inattaquables. Dans ces circonstances, nous trouvons que les ions qui se séparent sont d'une part le plomb, d'autre part le chlore. Le plomb se porte à l'électrode de sortie, le chlore se dégage autour de l'électrode d'entrée.

Il en est de même de tous les composés binaires, le métal formant toujours le cathion et le métalloïde l'anion ; nous pouvons encore exprimer ces faits en disant que le métal est entraîné dans le sens du courant et le métalloïde en sens inverse. Le sens du courant ayant été choisi comme celui dans lequel se

déplace l'électricité positive, le cathion est souvent appelé ion ou radical électro-positif et l'anion ion ou radical électro-négatif.

L'électrolyse des sels ternaires se présente d'une manière moins simple. Prenons par exemple du sulfate de potassium K^2SO^4 à l'état fondu. Comment s'électrolysera ce sel? Rien *à priori* ne permet de le prévoir. Voici ce que l'expérience donne. Au pôle négatif, ou pôle de sortie, se dépose du potassium que l'on peut recueillir à condition de le protéger contre l'action oxydante de l'air. Au pôle positif, on voit se dégager de l'oxygène et des fumées blanches d'anhydride sulfurique. Interprétons ces faits : le sulfate de potassium a pour formule K^2SO^4. Si nous enlevons l'ion K^2, il reste le groupe SO^4. Or ce groupe n'a jamais été observé à l'état de liberté ; mais on a :



$$SO^4 = SO^3 + O.$$

On peut donc admettre que le deuxième ion est constitué par le groupe SO^4, lequel, dès qu'il est mis en liberté, se décompose spontanément en anhydride et oxygène.

Tous les sels ternaires donneraient le même résultat : par exemple, le borate de plomb donnera au pôle négatif du plomb, au pôle positif de l'oxygène et de l'anhydride borique ; l'azotate de potassium donnera au pôle négatif du potassium, au pôle positif de l'oxygène et de l'anhydride azotique, etc.

Il résulte de là que dans un composé ternaire, les deux ions sont : le métal d'une part, de l'autre tout le reste ; ces composés ne sont donc ternaires qu'en apparence, en réalité ils sont binaires ; mais l'un de leurs ions est un radical composé : nous écrirons donc :

Le sulfate de potassium	(K^2) (SO^4)
L'azotate de sodium	(Na) (AzO^3)
etc.	

Si maintenant nous considérons les sels non plus fondus, mais à l'état de dissolution, nous trouvons que les ions sont les mêmes, et que, d'une manière générale, la décomposition a lieu de manière à porter le métal d'un côté (à l'électrode de sortie), tout le reste de l'autre (à l'électrode d'entrée) (¹) ; telle est l'action primaire pure de l'électrolyse, à laquelle peuvent succéder bien entendu des actions secondaires plus ou moins compliquées. Prenons par exemple du chlorure de cuivre en dissolution ; ici les deux ions sont le cuivre qui se rend à l'électrode de sortie et le chlore qui se rend à l'électrode d'entrée. De même, abstraction faite de toute action secondaire, le sulfate de cuivre $CuSO^4$ se décompose en Cu et SO^4 ; mais ici le radical SO^4 se trouvant en présence de l'eau H^2O donne par une action secondaire SO^4H^2 et de l'oxygène qui se dégage.

Nous avons à étudier maintenant les lois quantitatives de ces décompositions. Soumettons un certain composé à l'action électrolytique d'un courant : le poids P décomposé pendant un certain temps dépendra évidemment : 1° de l'intensité du courant ; 2° du temps ; 3° de la nature du composé ; d'ailleurs, si nous connaissons la composition chimique du corps considéré et la manière dont il se sépare en ses deux ions, du poids P nous pourrons immédiatement déduire les poids des deux ions qui apparaissent aux deux électrodes. Il suffit donc de considérer le poids total P. Faraday a établi les lois suivantes :

1° *Le poids P est proportionnel à l'intensité du courant ;*

2° *Pour un courant constant, ce poids est proportionnel au temps.*

Ces deux lois sont résumées dans la formule :

$$P = kIt.$$

Si le courant est variable, nous appliquerons les deux lois de Faraday à des intervalles infiniment petits : en intégrant, nous trouverons

$$P = k \int I dt = kQ,$$

Q étant la quantité totale d'électricité qui a

(¹) Il semble démontré que les ions constitutifs d'un électrolyte sont les mêmes à l'état fondu et à l'état dissous, mais cela n'est pas évident *à priori* et il serait intéressant d'instituer une série d'expériences spécialement en vue de vérifier ce fait.

passé. Les deux lois de Faraday peuvent donc se résumer en une seule :

Le poids d'un électrolyte décomposé par une certaine quantité d'électricité est proportionnel à cette quantité.

De la formule précédente on tire :

$$k = \frac{P}{Q}.$$

Le coefficient k est donc le rapport du poids d'électrolyte décomposé à la quantité d'électricité nécessaire pour le décomposer : dans le système pratique, k sera exprimé numériquement par le poids décomposé par un coulomb. Ce nombre s'appelle l'équivalent électrochimique du corps considéré. Voici les équivalents électrochimiques de quelques corps exprimés en milligrammes par coulomb :

Substances	Équivalents électrochimiques en milligrammes par coulomb.
$Ag\,AzO^3$	1,76
KCl	0,77
HCl	0,38
$Pb(AzO^3)^2$	1,72
$CuCl^2$	0,69
Al^2Cl^6	0,46

On voit que les équivalents électrochimiques (mesurés en milligrammes par coulomb) sont très variables d'un corps à l'autre : ils dépendent donc de la nature du corps considéré. Faraday a trouvé une relation très remarquable entre les équivalents électrochimiques et les poids moléculaires. Pour mettre cette relation en évidence, inscrivons à côté des équivalents électrochimiques k les poids moléculaires M et prenons les rapports $\frac{k}{M}$. Nous aurons ainsi :

Substances	Équivalent électrochimique k	Poids moléculaire M	Rapports $\frac{k}{M}$
$Ag\,AzO^3$. .	1,76	170	$1,030\ .10^{-2}$
KCl	0,77	74,5	$1,030\ .10^{-2}$
HCl. . . .	0,38	31,5	$1.030\ .10^{-2}$
$Pb(AzO^3)^2$	1,72	330	$0,515\ 1.10^{-2}$
$CuCl^2$ . . .	0,69	134	$0,515\ 1.10^{-2}$
Al^2Cl^6. . .	0,46	266	$0,172\ 6.10^{-2}$

On voit que les substances considérées se partagent en trois groupes ; dans le premier le quotient de l'équivalent électrochimique par le poids moléculaire est égal environ à $1,030.10^{-2}$; dans le second à $0,515.10^{-2} = \frac{1}{2}.1,030.10^{-2}$; dans le troisième à $0,172.10^{-2} = \frac{1}{6}.1,030.10^{-2}$. Nous pouvons donc dire : dans chaque groupe l'équivalent électrochimique est proportionnel au poids moléculaire, mais le coefficient de proportionnalité change lorsque l'on passe d'un groupe à l'autre : il est $1,03.10^{-2}$ pour le premier groupe ; $\frac{1}{2}.1,03.10^{-2}$ pour le second ; $\frac{1}{6}.1,03.10^{-2}$ pour le troisième.

Cherchons si nous trouvons dans la constitution chimique des corps quelque particularité qui explique ces différences. Pour cela, mettons en évidence ce que les chimistes appellent les valences échangées entre les deux radicaux ou ions qui constituent le composé considéré : nous trouvons que dans le premier groupe, les deux ions sont liés par une seule valence, dans le second par deux, dans le troisième par six. Ainsi tous les corps qui échangent le même nombre de valences entre leurs deux ions ont le même coefficient de proportionnalité dans l'application de la loi de Faraday, et ce coefficient varie précisément en raison inverse du nombre des valences échangées ; il est de 1,03 pour 1 valence, $\frac{1}{2}$ 1,03 pour 2 valences, $\frac{1}{6}$ 1,03 pour 6 valences, etc., d'une manière générale, soit n le nombre des valences échangées entre les deux ions qui constituent un électrolyte, l'équivalent électrochimique de cet électrolyte sera :

$$k = \frac{1}{n} \times 1,03 \times 10^{-2} \times M$$

ou

$$k = 1,03 \times 10^{-2} \times \frac{M}{n}.$$

Nous introduisons ici une nouvelle quantité $\frac{M}{n}$, quotient du poids moléculaire par le nombre de valences échangées ; si, par défini-

tion nous appelons équivalent chimique d'un corps ce quotient, nous pourrons énoncer la loi de Faraday de la façon suivante :

L'équivalent électrochimique d'un corps est dans tous les cas proportionnel à son équivalent chimique, et si l'on veut exprimer cet équivalent électrochimique en milligrammes par coulomb, le coefficient de proportionnalité est $1{,}03 \times 10^{-2}$.

Donnons quelques exemples :

Noms	Poids moléculaires	Nombre de valences	Équivalents.
Chl. de potassium. .	$K - Cl$	1	KCl.
Chl. d'argent. . . .	$Ag - Cl$	1	$AgCl$.
Chl. cuivreux. . . .	$Cu^2 = Cl^2$	2	$CuCl$.
Chl. cuivrique . . .	$Cu = Cl^2$	2	$Cu^{\frac{1}{2}} Cl$.
Chl. d'antimoine . .	$Sb \equiv Cl^3$	3	$Sb^{\frac{1}{3}} Cl$.
Chl. d'aluminium . .	$Al^2 \equiv Cl^6$	6	$Al^{\frac{1}{3}} Cl$.
Phosphate de sodium	$Na^3 \equiv PO^4$	3	$Na (PO^4)^{\frac{1}{3}}$
Ph. acide de sodium.	$Na^2 = PO^4H$	2	$Na (PO^4H)^{\frac{1}{2}}$
id. id.	$Na - PO^4H^2$	1	$Na (PO^4H^2)$
Pyrophosphate. . .	$Na^4 \equiv P^2O^7$	4	$Na(P^2O^7)^{\frac{1}{4}}$

Nous pouvons maintenant étendre cette loi aux corps simples ou aux ions qui constituent un composé : nous définirons l'équivalent chimique d'un ion comme étant la quantité de cet ion qui figure dans 1 équivalent chimique d'un composé qui le renferme.

Il résulte immédiatement de là qu'un même corps peut avoir plusieurs équivalents, tandis qu'il ne peut avoir qu'un poids atomique : par exemple, le poids atomique du cuivre étant 63, son équivalent sera 63 dans les sels cuivreux et $\frac{63}{2} = 31{,}5$ dans les sels cuivriques [1].

Si nous résumons tout ce qui précède, nous dirons que, lorsqu'une même quantité d'électricité traverse plusieurs cuves électrolytiques en série, le nombre de valences rompues est le même dans chacune d'elles : cet énoncé ne laisse aucune ambiguïté sur les quantités réellement décomposées en même temps ; il est donc supérieur aux formes anciennes sous lesquelles on énonçait la loi de Faraday dans le langage des équivalents.

Il faut toutefois remarquer que cette manière de faire suppose essentiellement que nous connaissions la nature exacte des deux ions qui forment le composé. Si cette connaissance est immédiate dans certains cas, dans d'autres elle est plus délicate : prenons par exemple le chlorure de cuivre : $Cu Cl^2$. Les deux ions sont-ils (Cu) (Cl^2) ou $(CuCl)$ (Cl) ? Dans le premier cas il y aurait deux valences échangées, dans le second une seule ; c'est l'expérience seule qui peut trancher la question, et elle a montré que c'est la première hypothèse qui est la vraie. De même, prenons la potasse KOH : écrirons-nous (K) (OH) ou (KH) (O)? Dans le premier cas il y aura une seule valence échangée et dans le second deux. L'expérience, faite sur la potasse fondue semble indiquer que la première hypothèse est la vraie.

Il sera donc nécessaire, lorsque l'on aura à faire une électrolyse déterminée, de se demander avant tout quelle est la véritable constitution du composé au point de vue électrolytique, c'est-à-dire quels sont ses deux ions réels.

Non seulement la loi de Faraday nous donne la quantité totale de l'ion qui se sépare à une électrode, mais elle nous donne encore la manière dont le dépôt se répartit sur cette électrode : en effet, la quantité de l'ion qui se dépose par unité de temps et par unité de surface est proportionnelle à la quantité d'électricité qui a passé, c'est-à-dire à la densité du courant : l'épaisseur du dépôt sera donc irrégulière si la densité est irrégulière : en particulier, elle sera plus grande à toutes les parties anguleuses, arêtes, saillies, où en général la densité est plus grande.

Non seulement l'épaisseur, mais encore l'état physique du dépôt dépend beaucoup de la densité. Le cuivre, pour des densités faibles, donne un beau dépôt, pour des densités plus fortes, un dépôt irrégulier, plein de rugosités et

[1]. Toutes ces notions qui précisent beaucoup la loi de Faraday ont été exposées dès 1868 avec une grande clarté par G. Salet (article *Affinité* du Dictionnaire de Chimie de Würtz).

de protubérances; pour des densités plus fortes, encore un dépôt pulvérulent. L'argent pour des densités faibles se dépose en fines aiguilles, pour des densités plus fortes en une poudre noire, veloutée, qui peut sous plusieurs influences devenir blanche et cristalline. Il est très difficile d'obtenir de l'argent adhérent: on n'y arrive que dans une solution parfaitement neutre et très concentrée.

Dans tout ce qui précède, nous avons laissé de côté la complication des actions secondaires. Or, dans certains cas, ces actions ont, au point de vue des résultats obtenus une importance plus considérable encore que les actions primaires. Ce sont elles que nous allons examiner maintenant. En général, ces actions secondaires obéissent, peut-être avec une activité plus marquée, aux lois ordinaires de la chimie ; mais les circonstances de leur production peuvent être si variées qu'il en résulte une complication extrême : en effet, la nature des corps qui viendront en présence dépendra non seulement de la nature des corps contenus dans la cuve à électrolyse, mais encore d'une foule de phénomènes purement physiques dont les plus importants sont l'agitation du liquide, la diffusion, l'action de la pesanteur, etc. Toutes ces causes contribueront à ramener au contact les substances séparées par électrolyse, qui déjà auront pu être elles-mêmes modifiées par des actions secondaires, et à produire aussi une seconde série d'actions secondaires. De plus, la densité du courant aura une très grande importance : si elle est très grande, ce qui aura lieu d'une manière générale avec des courants très intenses et des électrodes très petites, l'ion sera mis en liberté très rapidement dans un très petit espace : alors, ou bien il sera soustrait à certaines actions secondaires qui auraient eu lieu sans cela, ou bien, si ces actions se produisent, l'ion étant en très grand excès dans un petit espace, les produits des réactions contiendraient cet ion au maximum. Au contraire, si la densité est très faible, ce qui correspondra d'une manière générale à un courant très faible et à une électrode de grande surface, l'ion, mis en liberté lentement aura tout le temps de réagir, et les corps avoisinants, électrodes ou électrolytes seront en excès. La concentration de l'électrolyte aura aussi une influence sur les réactions secondaires : si la dissolution est concentrée, il pourra se produire ces actions que les chimistes appellent les actions de masse et qui ont été précisées par les idées de Sainte-Claire-Deville sur la dissociation

Il faudra, dans chaque cas particulier, avoir égard à toutes ces circonstances : c'est dire qu'il est bien difficile de donner aucune règle générale. Nous choisirons seulement une série d'exemples particulièrement propres à bien montrer comment les choses se passent dans ces actions secondaires (¹).

Les ions mis en liberté peuvent agir soit sur les électrodes, soit sur l'électrolyte, soit les uns sur les autres, de là trois classes principales de phénomènes secondaires qui d'ailleurs se compliquent souvent par leur combinaison.

I. — Réactions secondaires entre les ions et les électrodes.

1° *Electrode positive.* — D'une manière générale si cette électrode est attaquable par l'ion correspondant, c'est-à-dire par l'ion électronégatif ou anion, elle se dissout : c'est ce qui se présente, par exemple dans l'électrolyse des chlorures : même des électrodes de platine peuvent être attaquées dans ces circonstances. D'ailleurs cet ion électronégatif peut aussi bien être un radical composé : électrolysons par exemple du sultate de cuivre avec une anode de cuivre; le radical SO^4 se portant sur le cuivre s'unit à lui pour donner de nouveau du sulfate de cuivre : nous avons à peine besoin de rappeler l'application de cette remarque à la galvanoplastie.

Dans d'autres cas, ce sont de simples phénomènes d'oxydation qui se produisent à l'anode : si par exemple cette anode est en

(¹) Consulter pour plus de détails l'ouvrage de G. Wiedemann : *Die Lehre von der Elektricität.*

magnésium, il se forme à sa surface un sous-oxyde noir qui ultérieurement décompose l'eau en donnant de la magnésie,

Un phénomène analogue se produit avec une anode d'aluminium : il se forme alors une couche mince et trés peu conductice d'un sous-oxyde d'aluminium ; ce phénomène a une conséquence curieuse qui s'explique aisément : si on munit un vase à électrolyse de deux électrodes dont l'une est en platine et l'autre en aluminium, le courant passera bien dans un sens, mais non dans l'autre.

Mais les phénomènes d'oxydation les plus remarquables sont offerts par le plomb qui se transforme à l'anode en peroxyde : il nous suffit de rappeler l'application de ce fait aux accumulateurs.

Enfin certains métaux réputés inoxydables, l'or, l'argent, s'oxydent dans ces circonstances ; le charbon lui-même peut donner de l'oxyde de carbone, de l'acide carbonique et surtout des composés graphitiques qui peu à peu désagrègent les électrodes les plus dures.

Comme nous l'avons vu plus haut, la densité du courant peut avoir une grande influence sur la nature de ces phénomènes. Prenons comme exemple l'électrolyse du sulfate de cuivre entre électrodes de cuivre, et examinons ce qui se passe à l'anode : l'ion qui y est mis en liberté est le radical SO^4 ; si la densité du courant est faible, ce radical a tout le temps de dissoudre le cuivre de l'anode pour reformer du sulfate de cuivre, et la composition de la liqueur reste sensiblement constante ; si au contraire la densité du courant est grande, SO^4 n'a pas le temps de saturer Cu ; il décompose l'eau, donne SO^4H^2 et la liqueur devient peu à peu acide, si, alors la diffusion intervient, l'acide sulfurique formé se mélange au reste, et en réalité on électrolyse alors un mélange de cuivre et d'acide sulfurique.

Ceci se présente toujours avec le zinc (chlorure ou sulfate), même avec des densités faibles, le bain devient toujours rapidement acide (d'Alméïda).

2° *Électrode négative.* — Si la cathode est formée par du mercure, il se forme un amalgame ; on peut utiliser cette propriété pour soustraire à l'action de l'eau des métaux altérables dans l'électrolyse, par exemple les métaux alcalins, potassium, sodium, etc. Le radical hypothétique des sels ammoniacaux (ammonium) se comporte de même et donne avec le mercure un composé ayant l'aspect et la consistance d'un amalgame. Très souvent, soit par une action primaire, soit par une action secondaire, c'est de l'hydrogène qui se dégage à la cathode ; or un grand nombre de métaux sont capables d'absorber l'hydrogène. Cette absorption est très marquée avec le platine, le palladium, le nickel. Il peut même se former de véritables combinaisons hydrogénées : si par exemple l'électrode est formée d'antimoine ou de tellure, il se forme de l'hydrogène antimonié ou telluré ; ce dernier se dissout dans l'eau en la colorant en rouge. Si ce composé, en se diffusant arrive à l'anode, l'hydrogène est oxydé, et le tellure se précipite de nouveau en flocons bruns.

Il est à remarquer que les électrodes qui ont servi longtemps au passage du courant deviennent cassantes, même quand elles n'ont pas été attaquées : il semble qu'il y eût là une action mécanique propre du courant.

II. — Action des ions sur l'électrolyte.

1° *Électrode positive.* — D'une manière générale, il se produit autour de cette électrode des phénomènes d'oxydation : transformation des sels ferreux, en sels ferriques, etc.

2° *Électrode négative.* — Le métal qui se dépose à l'électrode négative est quelquefois attaquable par l'électrolyte. Cela a lieu par exemple lorsque l'électrolyte est acide : or nous avons vu que ce fait se présente chaque fois que la densité du courant est un peu forte, et même toujours pour certains sels : alors le métal déposé se redissout en partie et on observe un poids plus petit que ne l'indique la loi de Faraday. Cela pourra se présenter pour le sulfate de cuivre : en réalité, l'augmentation de poids est alors la différence entre le poids déposé et le poids dissous : il peut arriver même que cette différence soit nulle pour

certaines densités de courant : c'est ce que l'on appelle la balance électrolytique de la corrosion chimique (Gore). Il est clair qu'il faut tenir le plus grand compte de ces faits dans l'application de l'électrolyse à la mesure des intensités.

Souvent c'est l'eau que le métal attaque : c'est ce qui se présente dans l'électrolyse bien connue des métaux alcalins. Enfin le métal peut agir sur le sel lui-même. Si par exemple on électrolyse du chlorure de cuivre $CuCl^2$, à la cathode, le cuivre déposé pourra en partie réagir sur la dissolution pour le ramener à l'état de chlorure cuivreux Cu^2Cl^2 : il se dépose alors sur l'électrode un mélange brun rouge de cuivre et de chlorure cuivreux. La proportion change avec la densité du courant et la concentration de la liqueur, suivant les remarques générales faites plus haut. Plus la densité est faible et plus la concentration est forte, plus la proportion de Cu^2Cl^2 augmente. De même, avec l'acétate de cuivre, on obtient un mélange de Cu et de CuO, ou une combinaison à l'état d'oxydule. Enfin si on électrolyse de l'arséniate de potassium, le potassium réduit l'arséniate et on a un dépôt d'arsenic. Il semble qu'une réduction analogue s'opère dans l'électrolyse du cyanure double d'argent et de potassium. AgCy + KCy. L'expérience semble indiquer que les ions sont ici (K) (Ag Cy + Cy). Ce serait donc le potassium qui se déposerait, et ce ne serait que par une action secondaire qu'il précipiterait l'argent à sa place. On s'expliquerait ainsi les qualités particulières du dépôt, dans ce cas, alors que les sels d'argent donnent toujours l'argent à l'état cristallin.

III. — Action mutuelle entre les produits de l'électrolyse.

De ces actions, qui peuvent être très variées, nous ne retiendrons que les suivantes. Faisons l'électrolyse d'un chlorure alcalin, du chlorure de potassium par exemple. Au pôle négatif par une première action secondaire il se forme de la potasse, au pôle positif du chlore, qui reste à l'état de dissolution : ces corps se diffusent et en se rencontrant ils forment soit un hypochlorite, soit un chlorate suivant les circonstances de température et de concentration. Nous reviendrons sur ces faits importants dans l'étude des applications.

P. Janet,
Chargé de cours à la Faculté des sciences,
Directeur du laboratoire central d'électricité.

LES INSTALLATIONS ÉLECTRIQUES DE ROTTERDAM

Les villes maritimes avec leurs ports, leurs bassins et leurs quais sont de celles qui exigent le plus puissant éclairage. L'emploi de l'électricité est tout naturellement indiqué, si surtout l'on tient compte que l'énergie sous cette forme peut servir à tous les usages.

Les ports hollandais, à cause de la faible altitude du sol, se distinguent par la multiplicité de leurs canaux et de leurs bassins. Naturellement tous les quais qui les longent sont dépourvus de garde-fous qui gêneraient le chargement et le déchargement des marchandises. Cela n'est pas sans danger dans l'obscurité, par les temps de forts brouillards principalement, et il n'est pas rare dans ces cas-là, d'avoir à déplorer des disparitions de personnes. Un puissant éclairage est donc particulièrement utile dans des villes pareilles.

Rotterdam est aujourd'hui le port des Pays-Bas où le trafic est le plus considérable. Aussi eut-on l'idée d'y employer l'électricité non seulement pour l'éclairage, mais en outre pour la manœuvre de grues de chargement. Quatre appareils de ce genre sont déjà installés dans le port, et un cinquième le sera sous peu.

Le problème de la distribution de l'énergie électrique à Rotterdam est particulièrement délicat. La ville est très étendue. La Meuse qui la traverse forme la grande île de Noordereiland entourée de deux bras de fleuve qui ont respectivement 300 et 150 mètres de large. Une distribution à voltage assez élevé s'imposait. D'autre part les moteurs actionnant les grues doivent démarrer très facilement et sous toutes les charges, ce qui poussait à l'emploi

de courants continus. On a adopté une distribution à 5 fils. C'est la maison Siemens de Berlin qui a fait l'installation. C'est la ville elle-même qui l'exploite en même temps que le gaz ; elle a placé les deux services sous la même administration.

STATION CENTRALE

L'usine génératrice est située à l'intérieur de l'usine à gaz (en A, sur le plan), point assez éloigné du centre de la ville. L'installation comprend deux moteurs à vapeur du type Wil-



Fig. 1. — Plan de Rotterdam.

lans de 150 chevaux conduisant chacun une dynamo par intermédiaire de plateaux d'entraînement. Les génératrices sont du type Siemens à induit extérieur. Les rhéostats d'excitation permettent de faire varier dans des limites très étendues la différence de potentiel aux bornes des machines ; il faut en effet pouvoir aller de 450 volts à 700 volts ; la tension la plus basse est demandée pour faire fonctionner les dynamos sur le réseau d'éclairage, tandis qu'on peut avoir besoin de 700 volts pour charger les batteries d'accumulateurs qui sont placées dans les sous-stations, ainsi que nous le verrons.

Dès maintenant la clientèle suffit à occuper complètement les machines, qui tournent jour

et nuit. Aussi se propose-t-on d'installer de nouveaux groupes générateurs.

CANALISATION

Des batteries d'accumulateurs sont placées dans deux sous-stations, indiquées par les lettres B et C sur le plan. Les machines fournissent l'énergie à ces batteries qui à leur tour alimentent le réseau de distribution. Les dynamos peuvent aussi fonctionner en parallèle avec les batteries si la consommation l'exige.

Les sous-stations sont assez éloignées de la station centrale, l'une est à 2 kilomètres et l'autre à 3 kilomètres de l'usine génératrice. Aussi on a supprimé sur ces parcours les 3 câbles intermédiaires de la distribution à 5 fils pour ne conserver que les deux câbles extrêmes.

La canalisation est souterraine ; comme l'on se trouve en terrain marécageux, l'isolement des conducteurs a dû être spécialement bien fait. Les câbles doivent traverser des canaux ; ceux mêmes qui alimentent la sous-station du port traversent la Meuse le long du pont Guillaume (Willemsburg). On ne pouvait se servir du pont pour éviter de recourir à des câbles immergés dans le fleuve, parce que tous les ponts doivent pouvoir se soulever ou tourner afin de permettre le passage des grands bateaux. Les câbles placés au fond de la Meuse doivent être armés pour pouvoir résister au choc des ancres qui les heurtent.

SOUS-STATIONS

L'une des sous-stations placée dans le quartier commerçant de la ville (en C) sert à l'éclairage du port. Tandis que la station centrale est largement installée, les sous-stations occupent des locaux très exigus, principalement celle de l'éclairage. Il a fallu installer les accumulateurs en plusieurs étages et les tableaux de distribution ont même dû être sectionnés, d'autant plus que le nombre des appareils est très considérable ; les ampèremètres notamment ont été prodigués. Chacun des quatre ponts de la distribution en a naturellement un, sans compter les appareils généraux. On a rangé, dans chaque sous-station, tous les ampèremètres sur un tableau, tous les voltmètres sur un second ; enfin un troisième commande les égalisateurs de tension.

RÉGLAGE

Pour maintenir une tension constante dans le réseau de distribution, le nombre d'accumulateurs en circuit doit varier avec le débit, d'autant plus que le voltage disponible aux bornes de chaque élément varie avec le degré de décharge de l'élément. Il faut donc modifier à chaque instant le nombre d'accumulateurs en circuit. Il serait impossible d'effectuer à la main ce réglage, tellement il est fréquent. Il se fait automatiquement ; quand le courant devient trop fort ou trop faible, un moteur est mis en mouvement dans un sens ou dans l'autre. Ce moteur commande par l'intermédiaire d'une vis sans fin un arbre portant des cames, qui tournent donc à une vitesse plus petite que celle du moteur. Ces cames appuient à chaque tour sur une tige dont elles dégagent ainsi les dents, un ressort agit alors pour faire avancer ou reculer cette tige qui porte les contacts mobiles glissant sur des glissières formées de touches isolées les unes des autres et communiquant avec les divers éléments de la batterie. Ce réglage automatique fonctionne parfaitement.

ÉGALISATEURS DE TENSION

Avec quelque soin que l'on ait équilibré les ponts, il est impossible, dans une distribution à cinq fils surtout, que des différences ne se produisent pas entre les voltages des divers ponts. Si même l'équilibre parfait a été obtenu à un moment donné, il ne se maintient pas indéfiniment. Il faut donc se servir d'égalisateurs de tension. On connaît le principe de ces appareils ; des moteurs placés en dérivation, un sur chaque pont de la distribution, sont calés sur un même arbre ; lorsque le voltage augmente dans un des ponts, le moteur tend à tourner plus vite que ceux des autres ponts, qui sont alors entraînés par le premier et fonctionnent comme génératrices, en sorte

que l'énergie est empruntée au premier pont pour être restituée aux autres.

A Rotterdam, on se trouvait dans des conditions très particulières. A cause de l'exiguïté des locaux des sous-stations, il était très difficile, sinon impossible, de placer un arbre assez long pour recevoir quatre induits. Il faut cependant que les quatre moteurs soient absolument solidaires et les courroies de transmission n'offrent pas une garantie suffisante à ce point de vue ; les glissements ne peuvent pas

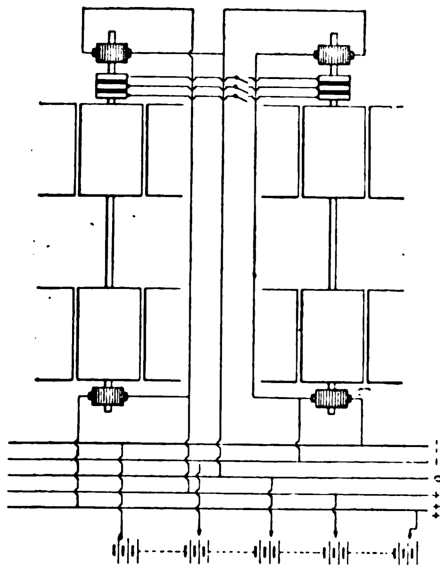


Fig. 2. — Représentation schématique des égalisateurs de tension.

être tolérés. Cette difficulté a été élégamment tournée en remplaçant la liaison mécanique rigide que l'on ne pouvait installer par une liaison électrique tout à fait dépourvue de jeu, mais se faisant par câbles de cuivre souples. On sait en effet que si l'on relie trois bobines situées à 120° l'une de l'autre dans l'induit d'une dynamo à courant continu à trois bobines semblablement placées dans une seconde machine et que l'on fasse tourner la première, elle fonctionnera comme génératrice triphasée, tandis que la seconde jouera le rôle d'un moteur triphasé, et les mouvements des deux machines sont synchrones ; l'égalité de vitesse est aussi bien garantie entre elles que si on avait calé les deux induits sur le même arbre. C'est ce principe que l'on a appliqué (fig. 2). Les quatre moteurs formant l'égalisateur de tension d'une sous-station sont divisés en deux groupes de deux moteurs calés sur le même axe. Sur un des moteurs de chaque groupe se trouvent, outre le collecteur ordinaire pour le courant continu, trois bagues collectrices reliées à trois points de l'induit situés à 120° l'une de l'autre. Si l'on met en communication les balais de ces collecteurs polyphasés, les deux axes des deux groupes de moteurs tourneront synchroniquement. Toutefois, quand on se sert de ce système, il faut isoler des câbles de distribution un des deux moteurs qui portent les collecteurs triphasés, car les différents points de son induit doivent être aux mêmes potentiels que les points correspondants de l'autre induit identique, tandis que dans le tableau de distribution les points sont à des voltages différents.

Cette liaison électrique offre sur une liaison mécanique l'avantage de pouvoir être très facilement supprimée à un moment donné. On met cet avantage à profit dans la manière d'opérer toute particulière qui a été adoptée dans l'installation qui nous occupe. Par une étude minutieuse des conditions pratiques dans lesquelles on se trouve ici, on est arrivé à réaliser des économies notables.

Dans les distributions d'énergie électrique, on fait habituellement fonctionner les égalisateurs de tension d'une manière continue. On consomme ainsi l'énergie nécessaire pour vaincre les frottements mécaniques, électriques et magnétiques des moteurs tournant à vide. Cette énergie est peu élevée sans doute, mais si les moteurs marchent constamment, elle finit par atteindre une valeur respectable à la fin de la journée. On a cherché à l'économiser en en faisant fonctionner les égalisateurs de tension que juste le temps strictement nécessaire.

Mais, en outre, si on analyse ce qui se passe pendant une certaine durée, une journée par exemple, on s'aperçoit que très fréquemment les travaux faits par les égalisateurs varient de sens et par suite se contrarient et se détruisent eux-mêmes. Si, à un moment donné, le

pont n° 1, par exemple, a un voltage plus élevé que le pont n° 2, le rôle de l'égalisateur va être de prendre de l'énergie dans le premier pont pour l'envoyer dans le second. Mais un instant après, la situation peut être renversée ; ce sera maintenant le pont n° 2 où la demande de courant baissera et où le voltage remontera ; alors l'égalisateur va reprendre de l'énergie au pont n° 2 pour la rendre au pont n° 1, c'est-à-dire qu'il défera en tout ou en partie ce qu'il a fait précédemment. On a donc travaillé inutilement, et non seulement on a eu les pertes propres des moteurs, mais on a transformé plusieurs fois l'énergie active du courant en énergie potentielle emmagasinée dans les accumulateurs ou inversement, et l'on sait que toutes ces transformations entraînent des pertes, sans compter encore l'usure des appareils. A Rotterdam on a obvié à tous ces inconvénients d'une manière très simple. Les égalisateurs sont normalement hors circuit, au repos. On laisse les accumulateurs des différents ponts se décharger suivant la demande, et ce n'est qu'au bout d'un certain laps de temps, soit une journée, que l'on fait fonctionner les moteurs pour rétablir des tensions uniformes dans tous les ponts. On n'a ainsi à s'occuper que des différences résultantes, à faire la balance, et non point à compenser à chaque instant les variations qui se produisent continuellement. On peut n'avoir de différences qu'entre deux des ponts, auquel cas on peut ne se servir que de deux moteurs. Cette manière d'opérer exige que les ponts aient été très soigneusement équilibrés.

GRUES ÉLECTRIQUES

Comme nous l'avons déjà dit, la seconde sous-tration fournit l'énergie à quelques arcs d'éclairage et à 4 grues électriques. Le force de chacun de ces appareils est 1 500 kilogrammes. Une grue comporte 2 moteurs électriques ; l'un d'eux, de 8 chevaux environ, commande le treuil sur lequel s'enroule le câble d'attache de la charge ; l'autre, de 4 chevaux, sert à effectuer la rotation de la tourelle et du bras. Les deux moteurs sont en dérivation et fonctionnent directement sur les 440 volts qu'il y a comme différence de tension entre les deux barres extrêmes de la distribution. Un disjoncteur automatique agit si le poids à soulever est trop lourd. Les rhéostats de démarrage sont d'un type particulier assez curieux. A cause de l'humidité à laquelle ils sont exposés, on n'a obtenu de bons résultats qu'avec des contacts

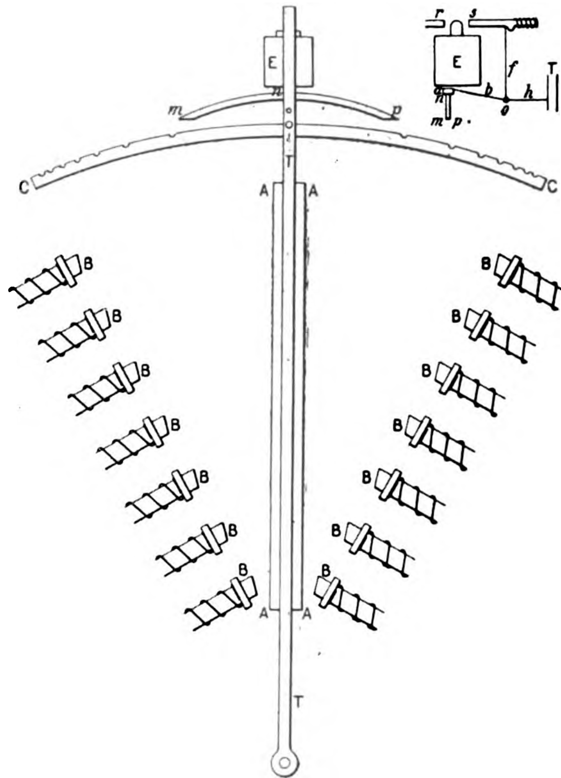


Fig. 3 et 4. — Rhéostat de démarrage des moteurs des grues. Détail de la partie supérieure.

en charbon. Le courant arrive par une grande barre en charbon AA (fig. 3) exhaussée dans une tige métallique TT. Il y a deux séries de contacts pour les diverses sphères du rhéostat afin de pouvoir marcher dans un sens ou dans l'autre. Ces contacts B,B,.. sont disposés suivant les deux côtés d'un V dont la barre d'arrivée du courant occupe l'axe. Le point autour duquel cette barre peut tourner, est au-dessous du sommet du V, en sorte que, quand on manœuvre la barre d'un côté, elle vient toucher successivement les contacts de ce côté en com-

mençant par le contact le plus bas. Un doigt porté par la tige T s'engage dans des crans faits dans un arc métallique CC afin de fixer la barre dans les diverses positions qu'elle peut avoir à occuper. Les contacts sont constitués par des blocs de charbon portés par des ressorts; il faut comprimer le ressort d'un contact avant de pouvoir arriver à toucher le contact suivant.

La rupture du courant se fait dans une dérivation située au-dessus du rhéostat et qui est munie d'un électro-aimant E (fig. 4) qui souffle l'étincelle. La roulette *a* portée par le levier *bof* qui tourne autour de *o*, l'axe *o* étant fixé à T par la tige *h*, rencontre, quand on manœuvre T, le plan incliné *mnp;* quand *a* est en haut de ce plan en *n*, le levier *f* maintient éloigné les deux contacts de charbon *r* et *s* par lesquels le courant passe. Quand *a* redescend, un ressort *v* ramène les deux charbons l'un vers l'autre.

Telles sont les grandes lignes de la distribution de Rotterdam. On le voit, les difficultés locales ne manquaient pas, et elles ont été très élégamment surmontées. Les grandes distances, le sol marécageux, les bras du fleuve et les canaux à traverser, tout cela exigeait un soin particulier dans l'établissement de la canalisation. Bien que l'exploitation fonctionne depuis peu et qu'on en n'ait pas encore des résultats bien complets, on a déjà pu voir que l'installation a été bien faite, puisqu'elle marche très régulièrement.

La charge des accumulateurs à grande distance amène sans doute des pertes assez considérables dans les câbles ; d'autre part, la distribution à cinq fils complique beaucoup les tableaux et les circuits, et l'équilibre des quatre ponts est très difficile à obtenir. Tous ces obstacles ont été très pratiquement surmontés à Rotterdam. S'il est possible que dans peu d'endroits on ait à adopter une solution identique, on n'en a pas moins sous les yeux une preuve de plus que l'électricité s'adapte avec une souplesse remarquable aux situations les plus variées et aux problèmes les plus complexes. Il est juste aussi d'ajouter que ce n'est que par le soin le plus minutieux apporté à l'étude de l'installation et à sa réalisation que l'on peut arriver dans des cas aussi compliqués à de bons résultats.

Il nous reste pour terminer à faire une mention spéciale de la manière remarquable dont la station centrale et les sous-stations sont tenues. Nous sommes en Hollande, au pays dont la propreté est légendaire, et les usines électriques sont à la hauteur de cette situation. Il nous souvient d'avoir visité les fondations et les sous-sols des chaudières ; tous les murs, revêtus de briques blanches, étaient d'une propreté que dans d'autres pays on ne rencontre pas toujours dans les salles de machines ou même dans les bureaux. D'ailleurs, peu d'industriels consentent à montrer ces sous-sols et ces recoins, où, bien souvent, il n'y a rien de beau à voir. En Hollande, on peut tout faire visiter, car tout est magnifiquement tenu. C'est un point secondaire, semble-t-il ; cependant, le fonctionnement des appareils et la régularité de la marche des machines ont beaucoup à y gagner, sans parler de la beauté du coup d'œil et de l'impression produite sur les visiteurs.

Louis Brunhes,
Ingénieur électricien,
Assistant à l'Institut électrotechnique de Liège.

SUR L'INTERPRÉTATION THÉORIQUE

DES EXPÉRIENCES HERTZIENNES (1)

§ I. — Préliminaires.

Si deux charges électriques q et q' sont portées par deux points matériels M et M', placés, dans un vide *absolu, incapable de toute polarisation*, on admet que ces deux points matériels se repoussent avec une force

$$F = \varepsilon \frac{qq'}{r^2}, \tag{1}$$

r étant la distance des deux points M, M' et ε

(1) Communication faite au Congrès de Bordeaux de l'Association française pour l'avancement des Sciences.

une constante positive, dépendant des unités choisies.

Si ces mêmes points matériels sont placés, non plus dans le vide absolu, mais dans un milieu susceptible de polarisation diélectrique, et si K est le coefficient de polarisation diélectrique du milieu, ces points semblent se repousser avec une force

$$F_1 = \frac{\varepsilon}{1 + 4\pi\varepsilon K} \frac{qq'}{r^2}. \tag{2}$$

En particulier, lorsqu'on a chassé d'un espace les corps pondérables aussi complètement que le permettent les moyens physiques, on admet que cet espace renferme encore une substance matérielle, l'*éther;* on est amené à regarder cette substance comme susceptible de polarisation diélectrique. Si l'on désigne par K_0 le coefficient de polarisation diélectrique de l'éther, deux points matériels M et M′ portant des charges q et q', et placés à la distance r dans l'éther se repousseront avec une force

$$F_0 = \frac{\varepsilon}{1 + 4\pi\varepsilon K_0} \frac{qq'}{r^2}. \tag{3}$$

$(1 + 4\pi\varepsilon K)$ est le *pouvoir inducteur spécifique absolu* du diélectrique dont K est le coefficient de polarisation ; $(1 + 4\pi\varepsilon K_0)$ est le *pouvoir inducteur spécifique absolu de l'éther.*

Les quantités ε, K_0, K, ne peuvent être connues séparément par des mesures électrostatiques directes.

1° La détermination des pouvoirs inducteurs spécifiques permet de déterminer, pour les divers diélectriques, le *pouvoir inducteur spécifique rapporté à l'éther*, c'est-à-dire le rapport

$$\frac{1 + 4\pi\varepsilon K}{1 + 4\pi\varepsilon K_0}. \tag{4}$$

Pour tous les diélectriques connus, ce rapport est supérieur à l'unité, en sorte que l'on a

$$K > K_0 \tag{5}$$

Pour l'air, dans les conditions ordinaires de température et de pression, ce rapport surpasse fort peu l'unité ; K surpasse donc fort peu K_0 ; aussi, dans la plupart des questions, peut-on, sans inconvénient, confondre les propriétés diélectriques de l'air avec les propriétés diélectriques de l'éther ;

2° Si l'on a choisi d'une manière quelconque un étalon de charge électrique, on peut, par des mesures électrostatiques effectuées théoriquement dans l'éther et, pratiquement, dans l'air, déterminer la valeur de la quantité essentiellement positive.

$$\frac{\varepsilon}{1 + 4\pi\varepsilon K_0}. \tag{6}$$

Soit maintenant, dans un vide absolu, incapable de polarisation magnétique, un système de conducteurs linéaires parcourus par des courants uniformes ou non ; soient $MM_1 = ds$ et $M'M'_1 = ds'$ deux éléments de longueur appartenant à ces conducteurs ; soit r la distance MM′ ; soit θ l'angle des directions MM′, MM_1 ; soit θ', l'angle des directions $M'M'_1$, MM′; soit ω l'angle des directions MM_1, $M'M'_1$; soient J, J′, les intensités des courants qui traversent les éléments ds, ds'. Les forces qui s'exercent dans le circuit admettent le potentiel suivant :

$$\Pi = -\frac{\mathfrak{A}^2}{2} \sum \left(\frac{1+\lambda}{2r} \cos \omega + \frac{1-\lambda}{2r} \cos \theta \cos \theta' \right) JJ' ds ds', \tag{7}$$

le signe $\sum$ désignant une sommation qui s'étend à toutes les combinaisons distinctes des éléments ds, ds', deux à deux.

Dans cette formule, $\frac{\mathfrak{A}^2}{2}$ est une constante positive qui dépend du choix des unités ; λ est une constante purement numérique que nous nommerons la *constante de Helmholtz.*

Lorsque les courants considérés sont uniformes, la valeur de la constante λ est sans influence sur la valeur de Π; on peut adopter pour cette constante telle détermination que l'on veut, par exemple la détermination

$$\lambda = 1, \tag{8}$$

que Helmholtz nomme *détermination de*

F. E. Neumann; l'expression de Π devient alors :

$$\Pi = -\frac{\mathfrak{A}^2}{2} \sum \frac{\cos \omega}{r} \mathrm{JJ'}dsds' . \tag{9}$$

Si le système de courants uniformes considéré est plongé non pas dans le vide absolu, incapable d'aucune polarisation diélectrique ou magnétique, mais bien dans un milieu matériel dont f est le coefficient d'aimantation, il s'exerce entre les conducteurs que traversent ces courants, des actions en partie fictives dont le potentiel est donné non plus par l'égalité (9), mais par l'égalité.

$$\Pi_1 = -\frac{\mathfrak{A}^2}{2} (1 + 4\pi f) \sum \frac{\cos \omega}{r} \mathrm{JJ'}dsds'. \tag{10}$$

$(1 + 4\pi f)$ est la ***perméabilité magnétique*** du milieu.

En particulier, si ce milieu est l'éther auquel l'existence de corps diamagnétiques nous contraint d'attribuer des propriétés magnétiques, et si f_0 est le coefficient d'aimantation de l'éther, le potentiel électrodynamique en question a pour valeur

$$\Pi_0 = -\frac{\mathfrak{A}^2}{2} (1 + 4\pi f_0) \sum \frac{\cos \omega}{r} \mathrm{JJ'}dsds'. \tag{11}$$

Les mesures magétiques ou électrodynamiques ne nous permettent pas de connaître séparément les quantités $f, f_0, \frac{\mathfrak{A}^2}{2}$.

1° Les mesures magnétiques nous font connaître, pour chaque corps, l'excès $(f - f_0)$ du coefficient d'aimantation du corps sur le coefficent d'aimantation de l'éther ; cet excès est positif pour les corps *paramagnétiques*, négatif pour les corps *diamagnétiques ;* pour l'air, dans les conditions ordinaires de température et de pression, cet excès est très voisin de o ; on peut donc confondre pratiquement les propriétés magnétiques de l'air et les propriétés magnétiques de l'éther.

2° Si l'on a choisi un étalon d'intensité, des mesures électrodynamiques effectuées théoriquement dans l'éther et, pratiquement, dans l'air, font connaître la valeur de la constante

$$\frac{\mathfrak{A}^2}{2} (1 + 4\pi f_0). \tag{12}$$

Le rapport

$$v^2 = \frac{\varepsilon}{\frac{\mathfrak{A}^2}{2}} \frac{1}{(1 + 4\pi\varepsilon K_0)(1 + 4\pi f_0)} \tag{13}$$

est, on le démontre aisément, une grandeur de même espèce que le carré d'une vitesse. L'expérience permet de déterminer la valeur de la vitesse v ; elle conduit à ce résultat capital :

La vitesse v ne diffère de la vitesse V ***de la lumière dans le vide que d'une quantité qui est de l'ordre des erreurs d'expérience.***

On peut donc admettre comme établie par l'expérience l'égalité

$$v = \mathrm{V}. \tag{14}$$

La valeur de la constante λ est, jusqu'ici, inconnue ; on sait seulement que cette valeur ne doit pas être négative, afin que l'équilibre électrique soit stable :

$$\lambda \geqq 0. \tag{15}$$

Considérons, dans le vide absolu, un système de fils diélectriques traversés, dans le sens des fils, par des courants de déplacement ; soient j, j', les intensités des courants de déplacement qui traversent les éléments ds, ds' ; gardons les mêmes notations qu'en ce qui précède.

On admet, en général, que le potentiel des forces qui s'exercent entre ces courants a pour expression

$$\mathrm{P} = -\frac{\mathfrak{A}^2}{2} \sum \left(\frac{1+\lambda}{2r} \cos \omega + \frac{1-\lambda}{2r} \cos \theta \cos \theta' \right) jj'dsds'.$$

Nous avons été amené (1) à prendre pour ce potentiel P, l'expression

$$-\frac{\mathfrak{C}^2}{2} \sum \left(\frac{1+\lambda}{2r} \cos \omega + \frac{1-\lambda}{2r} \cos \theta \cos \theta' \right) jj'dsds', \tag{16}$$

(1) Nous avons indiqué cette extension des idées de Maxwell et de Helmholtz au 3e *Congrès scientifique international des catholiques*, tenu à Bruxelles en septembre 1894. (Voir les *Comptes Rendus* de ce Congrès).

$\frac{\mathfrak{C}^2}{2}$ étant une constante analogue à $\frac{\mathfrak{A}^2}{2}$, mais dont la valeur peut différer de $\frac{\mathfrak{A}^2}{2}$.

Soient, dans le vide, un système de fils conducteurs, traversés par des courants de conduction et un système de fils diélectriques traversés par des courants de déplacement; soit ds un élément du premier système ; soit J l'intensité du courant de conduction qui le traverse ; soit ds' un élément du second système ; soit j' l'intensité du courant de déplacement qui le traverse ; gardons les mêmes notations qu'en ce qui précède; le potentiel électrodynamique mutuel Q des deux systèmes sera

$$(17)\quad -\frac{\mathfrak{A}\mathfrak{C}}{2}\sum\left(\frac{1+\lambda}{2r}\cos\omega+\frac{1-\lambda}{2r}\cos\theta\cos\theta'\right)Jj'ds\,ds',$$

$\mathfrak{A}$ et $\mathfrak{C}$ étant tous deux positifs, et la sommation s'étendant à toutes les combinaisons distinctes que l'on peut former en prenant un élément conducteur et un élément diélectrique.

On voit qu'un courant de conduction d'intensité J et un courant de déplacement d'intensité j, ayant même direction, seront équivalents si l'on a

$$(18)\qquad j=\Theta J,$$

avec

$$(19)\qquad \Theta=\frac{\mathfrak{A}}{\mathfrak{C}}.$$

Les idées généralement adoptées depuis Maxwell consistent à supposer que

$$(20)\qquad \Theta=1.$$

Pour nous, nous laisserons provisoirement indéterminée la valeur de Θ.

§ II. — Propagation des actions électriques.

On peut traiter complètement, en suivant les méthodes que Helmholtz a indiquées, la propagation d'une perturbation électrique soit dans un conducteur dénué de pouvoir diélectrique, soit dans un diélectrique absolument isolant, On parvient ainsi aux résultats suivants :

Dans un milieu diélectrique homogène, privé de tout pouvoir conducteur, les flux de déplacement qui se propagent peuvent toujours, suivant un procédé bien connu en physique mathématique, se décomposer en deux espèces de flux : des flux exclusivement longitudinaux, et des flux exclusivement transversaux.

Les composantes φ, ψ, χ des flux longitudinaux vérifient les équations

$$(21)\quad \begin{cases} \dfrac{1+4\pi\varepsilon K}{4\pi\varepsilon K}\dfrac{1}{\lambda}\dfrac{\varepsilon}{\frac{\mathfrak{C}^2}{2}}\Delta\varphi-\dfrac{\partial^2\varphi}{\partial t^2}=0,\\ \dfrac{1+4\pi\varepsilon K}{4\pi\varepsilon K}\dfrac{1}{\lambda}\dfrac{\varepsilon}{\frac{\mathfrak{C}^2}{2}}\Delta\psi-\dfrac{\partial^2\psi}{\partial t^2}=0,\\ \dfrac{1+4\pi\varepsilon K}{4\pi\varepsilon K}\dfrac{1}{\lambda}\dfrac{\varepsilon}{\frac{\mathfrak{C}^2}{2}}\Delta\chi-\dfrac{\partial^2\chi}{\partial t^2}=0. \end{cases}$$

Les composantes φ, ψ, χ des flux transversaux vérifient les équations

$$(22)\quad \begin{cases} \dfrac{1}{(1+4\pi f)\,4\pi\varepsilon K}\dfrac{\varepsilon}{\frac{\mathfrak{C}^2}{2}}\Delta\varphi-\dfrac{\partial^2\varphi}{\partial t^2}=0,\\ \dfrac{1}{(1+4\pi f)\,4\pi\varepsilon K}\dfrac{\varepsilon}{\frac{\mathfrak{C}^2}{2}}\Delta\psi-\dfrac{\partial^2\psi}{\partial t^2}=0,\\ \dfrac{1}{(1+4\pi f)\,4\pi\varepsilon K}\dfrac{\varepsilon}{\frac{\mathfrak{C}^2}{2}}\Delta\chi-\dfrac{\partial^2\chi}{\partial t^2}=0. \end{cases}$$

Dans un milieu conducteur homogène privé de pouvoir diélectrique les flux de conduction qui se propagent peuvent également se décomposer en flux longitudinaux et flux transversaux.

Les composantes u, v, w des flux transversaux vérifient les équations

$$(23)\quad \begin{cases} \dfrac{1}{(1+4\pi f)\frac{4\pi\varepsilon}{\rho}}\dfrac{\varepsilon}{\frac{\mathfrak{A}^2}{2}}\Delta u-\dfrac{\partial u}{\partial t}=0,\\ \dfrac{1}{(1+4\pi f)\frac{4\pi\varepsilon}{\rho}}\dfrac{\varepsilon}{\frac{\mathfrak{A}^2}{2}}\Delta v-\dfrac{\partial v}{\partial t}=0,\\ \dfrac{1}{(1+4\pi f)\frac{4\pi\varepsilon}{\rho}}\dfrac{\varepsilon}{\frac{\mathfrak{A}^2}{2}}\Delta w-\dfrac{\partial w}{\partial t}=0. \end{cases}$$

ρ étant la résistance spécifique du conducteur.

Les composantes u, v, w, des flux longitudinaux vérifient les équations

$$(24)\quad \left\{\begin{aligned} &\frac{1}{\lambda}\frac{\varepsilon}{\frac{\mathfrak{A}^2}{2}}\Delta u + \frac{1}{\lambda\frac{4\pi\varepsilon}{\rho}}\frac{\varepsilon}{\frac{\mathfrak{A}^2}{2}}\Delta\frac{\partial u}{\partial t} - \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = 0, \\ &\frac{1}{\lambda}\frac{\varepsilon}{\frac{\mathfrak{A}^2}{2}}\Delta v + \frac{1}{\lambda\frac{4\pi\varepsilon}{\rho}}\frac{\varepsilon}{\frac{\mathfrak{A}^2}{2}}\Delta\frac{\partial v}{\partial t} - \frac{\partial^2 v}{\partial t^2} = 0, \\ &\frac{1}{\lambda}\frac{\varepsilon}{\frac{\mathfrak{A}^2}{2}}\Delta w + \frac{1}{\lambda\frac{4\pi\varepsilon}{\rho}}\frac{\varepsilon}{\frac{\mathfrak{A}^2}{2}}\Delta\frac{\partial w}{\partial t} - \frac{\partial^2 w}{\partial t^2} = 0. \end{aligned}\right.$$

Les équations aux dérivées partielles (21) et (22) ont une forme bien connue en physique mathématique : celle que l'on désigne par le nom d'*équation canonique des petits mouvements*. Les équations (21) nous apprennent que, *dans un milieu dénué de conductibilité, les flux de déplacement longitudinaux se propagent avec une vitesse*

$$(25)\qquad \mathfrak{T} = \sqrt{\frac{\varepsilon}{\frac{\mathfrak{C}^2}{2}}\frac{1}{\lambda}\frac{1+4\pi\varepsilon K}{4\pi\varepsilon K}},$$

tandis que, d'après (22), *les flux de déplacement transversaux se propagent avec une vitesse*

$$(26)\qquad \tau = \sqrt{\frac{\varepsilon}{\frac{\mathfrak{C}^2}{2}}\cdot\frac{1}{(1+4\pi f)\,4\pi\varepsilon K}}.$$

Les équations (23) appartiennent, elles aussi, à un type bien connu, au type de l'*équation du mouvement varié de la chaleur*. Cette équation exclut l'idée de toute vitesse de propagation; toute intégrale de cette équation, continue dans tout l'espace, ainsi que les dérivées partielles du premier ordre, est une intégrale analytique.

Les équations (24) appartiennent à un type beaucoup plus compliqué et qui n'a pas été étudié jusqu'ici en physique mathématique. Au sujet de ce type d'équations, nous pouvons obtenir quelques indications en faisant usage d'un beau théorème dû à Hugoniot :

Considérons une fonction $V(x, y, z, t)$ définie par une équation aux dérivées partielles; imaginons que cette fonction soit identiquement nulle dans une des régions en lesquelles l'espace est divisé par une certaine surface S, tandis qu'en l'autre région, elle a une expression analytique qui diffère de zéro; en outre, sur la surface S, les quantités

$$V,\quad \frac{\partial V}{\partial x},\quad \frac{\partial V}{\partial y},\quad \frac{\partial V}{\partial z},\quad \frac{\partial V}{\partial t}$$

sont égales à o. A l'instant $(t + dt)$ la surface S est venue en S', soit dn la distance normale de la surface S à la surface S', en un point M de la surface S; on a

$$(27)\qquad \left(\frac{dn}{dt}\right)^2 = \frac{\frac{\partial^2 V}{\partial t^2}}{\Delta V},$$

$\frac{\partial^2 V}{\partial t^2}$ et ΔV se rapportant à un point infiniment voisin du point M, pris dans la région où V n'est pas identiquement nul.

Si $\frac{\frac{\partial^2 V}{\partial t^2}}{\Delta V}$ est négatif, l'égalité (27) constitue une impossibilité ; l'équation qui définit V ne peut admettre deux déterminations analytiques différentes de part et d'autre d'une certaine surface.

Le théorème d'Hugoniot nous donne immédiatement le moyen de former l'équation aux dérivées partielles la plus générale compatible avec l'existence d'une onde animée d'un mouvement de propagation uniforme dont a est la vitesse. Cette équation est évidemment :

$$a^2\Delta V - \frac{\partial^2 V}{\partial t^2} + F = 0,$$

F s'annulant pour

$$V = 0,\quad \frac{\partial V}{\partial x} = 0,\quad \frac{\partial V}{\partial y} = 0,\quad \frac{\partial V}{\partial z} = 0,\quad \frac{\partial V}{\partial t} = 0.$$

En particulier, si l'équation en question doit être *linéaire*, elle sera de la forme :

$$(28)\qquad a^2\Delta V - \frac{\partial^2 V}{\partial t^2} + AV + L\frac{\partial V}{\partial x} + M\frac{\partial V}{\partial y} + N\frac{\partial V}{\partial z} + P\frac{\partial V}{\partial t} = 0.$$

A, L, M, N, P étant des constantes.

A ce type appartiennent l'équation canonique des petits mouvements et aussi l'*équation des télégraphistes* qui a fait l'objet de belles recherches de la part de M. Poincaré.

de M. Picard et de M. Bousninesq, et que l'on regarde en général comme réglant la propagation des courants longitudinaux dans les corps conducteurs.

Ce dernier phénomène dépend non pas de l'équation des télégraphistes, mais des équations (24), qui sont beaucoup plus compliquées et ne rentrent pas dans le type (28).

Considérons la première des équations (24) et appliquons-lui le théorème d'Hugoniot, exprimé par l'égalité (27). Nous voyons qu'en un point de l'onde relative à la composante parallèle à Ox des flux longitudinaux, la vitesse de propagation $\frac{dn}{dt}$ a pour valeur.

$$(29) \qquad \frac{dn}{dt} = \sqrt{\frac{\varepsilon}{\frac{\mathfrak{A}^2}{2}} \frac{1}{\lambda} \left(1 + \frac{\rho}{4\pi\varepsilon} \frac{\Delta \frac{\partial u}{\partial t}}{\Delta u}\right)}.$$

Cette vitesse, on le voit, est essentiellement variable d'un point à l'autre de l'onde; en outre, elle devient imaginaire dans le cas où l'on a

$$(30) \qquad 1 + \frac{\rho}{4\pi\varepsilon} \frac{\Delta \frac{\partial u}{\partial t}}{\Delta u} < 0.$$

Dans ce cas, il n'y a plus ni onde, ni vitesse de propagation.

Les équations (24) présentent un cas limite particulièrement intéressant; c'est le cas où la résistance spécifique ρ du milieu conducteur considéré devient très petite par rapport à $4\pi\varepsilon$. Dans ce cas, que nous nommerons *cas des conducteurs parfaits*, les équations (24) se réduisent sensiblement à la forme

$$(31) \qquad \left\{ \begin{aligned} &\frac{1}{\lambda} \frac{\varepsilon}{\frac{\mathfrak{A}^2}{2}} \Delta u - \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = 0, \\ &\frac{1}{\lambda} \frac{\varepsilon}{\frac{\mathfrak{A}^2}{2}} \Delta v - \frac{\partial^2 v}{\partial t^2} = 0, \\ &\frac{1}{\lambda} \frac{\varepsilon}{\frac{\mathfrak{A}^2}{2}} \Delta w - \frac{\partial^2 w}{\partial t^2} = 0. \end{aligned} \right.$$

Ces équations sont du type de l'équation canonique des petits mouvements; elles nous enseignent que, *dans un conducteur parfait, les flux longitudinaux se propagent avec une vitesse uniforme.*

$$(32) \qquad \mathfrak{V} = \sqrt{\frac{\varepsilon}{\frac{\mathfrak{A}^2}{2}} \cdot \frac{1}{\lambda}}.$$

On se rend mieux compte de la portée de ce théorème lorsqu'on suppose que les flux longitudinaux sont des flux oscillatoires simples.

Cherchons, en effet, à vérifier la première des égalités (24) par une expression de la forme

$$(33) \qquad u = \Phi \sin 2\pi n t + \Psi \cos 2\pi n t,$$

où n est une constante, tandis que Φ et Ψ sont des fonctions d'x, y, z, indépendantes de t. En substituant cette expression (32) de u dans la première des équations (24), celle-ci devient :

$$\left[\frac{\varepsilon}{\lambda \frac{\mathfrak{A}^2}{2}} \left(\Delta\Phi - \frac{n}{\frac{2\varepsilon}{\rho}} \Delta\Psi\right) - 4\pi^2 n^2 \Phi\right] \sin 2\pi n t$$
$$+ \left[\frac{\varepsilon}{\lambda \frac{\mathfrak{A}^2}{2}} \left(\Delta\Psi + \frac{n}{\frac{2\varepsilon}{\rho}} \Delta\Phi\right) - 4\pi^2 n^2 \Psi\right] \cos 2\pi n t = 0.$$

Cette équation ne peut être vérifiée, quel que soit t, que si l'on a simultanément les deux égalités :

$$(34) \qquad \left\{ \begin{aligned} &\frac{\varepsilon}{\lambda \frac{\mathfrak{A}^2}{2}} \left(\Delta\Phi - \frac{n}{\frac{2\varepsilon}{\rho}} \Delta\Psi\right) - 4\pi^2 n^2 \Phi = 0, \\ &\frac{\varepsilon}{\lambda \frac{\mathfrak{A}^2}{2}} \left(\Delta\Psi + \frac{n}{\frac{2\varepsilon}{\rho}} \Delta\Phi\right) - 4\pi^2 n^2 \Psi = 0, \end{aligned} \right.$$

Ce sont les équations aux dérivées partielles simultanées que doivent vérifier les deux fonctions Φ et Ψ.

Si le nombre n *des oscillations par secondes est négligeable par rapport à* $\frac{2\varepsilon}{\rho}$, ces équations deviennent :

$$(35) \qquad \left\{ \begin{aligned} &\frac{\varepsilon}{\lambda \frac{\mathfrak{A}^2}{2}} \Delta\Phi - 4\pi^2 n^2 \Phi = 0, \\ &\frac{\varepsilon}{\lambda \frac{\mathfrak{A}^2}{2}} \Delta\Psi - 4\pi^2 n^2 \Psi = 0, \end{aligned} \right.$$

équations analogues à celles qui régissent un

petit mouvement oscillatoire simple dans un milieu élastique où la vitesse de propagation est uniforme et a la valeur $\mathfrak{V}$.

Il ne faudrait pas croire, que pour être négligeable par rapport à $\frac{2\varepsilon}{\rho}$, le nombre n ait besoin, en général, d'être très petit. Pour le cuivre, par exemple, le rapport $\frac{2\varepsilon}{\rho}$ surpasse 6.10^{16}; le rapport $\frac{n}{\frac{2\varepsilon}{\rho}}$ demeure donc négligeable, même lorsque le nombre n des oscillations par seconde surpasse plusieurs millions; dans les expériences Hertziennes, étant donnée la fréquence habituelle des oscillations, tous les métaux se comportent comme des conducteurs parfaits.

§ III. — DÉTERMINATION DES VITESSES $\mathfrak{V}$, τ, $\mathfrak{T}$. CONSÉQUENCES.

Wheatstone, MM. Fizeau et Gounelle, ont chercher à mesurer la vitesse de propagation des flux longitudinaux dans les conducteurs; leurs méthodes de mesure étaient entachées de causes d'erreur que M. Blondlot est parvenu à éliminer. Les belles expériences de M. Blondlot ont conduit à ce résultat :

La vitesse de propagation des flux longitudinaux dans un conducteur sensiblement parfait est égale à la vitesse de la lumière dans le vide :

(36) $$\mathfrak{T} = V.$$

Examinons les conséquences de cette égalité.

Comparée à l'égalité (14), elle donne

(37) $$\mathfrak{T} = \nu.$$

En vertu des égalités (13) et (32), cette égalité (37) devient :

(38) $$\lambda = (1 + 4\pi\varepsilon K_0)(1 + 4\pi f_0)$$

Ainsi l'observation de M. Blondlot détermine la valeur théorique de la constante de Helmholtz : *La constante de Helmholtz est le produit du pouvoir inducteur spécifique de l'éther par la perméabilité magnétique de ce même éther.*

On suppose volontiers que l'éther possède seulement de faibles propriétés diélectriques et magnétiques, c'est-à-dire que les quantités εK_0 et f_0 ont seulement de petites valeurs; s'il en est ainsi, la constante de Helmholtz est peu supérieure à l'unité. La détermination (8) de F. E. Neumann est approximativement exacte.

DADS LES EXPÉRIENCES HERTZIENNES, LES CORPS CONDUCTEURS NOUS PARAISSENT AGIR SURTOUT PAR LES FLUX LONGITUDINAUX QUI LES TRAVERSENT.

Il nous semble, en particulier, que l'état électrique d'un fil métallique de faible section soit assimilable à l'état vibratoire d'un tuyau sonore dans l'hypothèse des tranches; si le fil est isolé à une extrémité, cette extrémité est sensiblement un nœud pour les flux longitudinaux; cette extrémité est analogue à l'extrémité close d'un tuyau fermé.

Prenons, par exemple, un fil de longueur L. La période T de l'oscillation électrique longitudinale la plus grave qu'il puisse rendre sera donnée par l'égalité

(39) $$\mathfrak{T}T = 2L.$$

Plaçons ce fil, pris comme résonateur, analogue aux résonateurs de MM. Sarrazin et de La Rive, dans un milieu diélectrique où sont produits des courants de déplacements transversaux parmi lesquels sont des flux périodiques simples de période T. La longueur d'onde de ces flux sera τT; la longueur d'un internœud sera $\frac{\tau T}{2}$.

Mesurons la longueur d'un internœud théoriquement dans l'éther et pratiquement dans l'air; nous trouvons avec MM. Sarrazin et de La Rive que la longueur de l'internœud est sensiblement égale à la longueur du fil servant de résonateur :

(40) $$L = \frac{\tau_0 T}{2}.$$

Les égalités (39) et (40) nous donnent :

(41) $$\tau_0 = \mathfrak{T}.$$

Ainsi, *l'expérience montre que la vitesse de propagation des flux de déplacement transversaux dans l'éther est égale à la vitesse de propagation des flux de conduction longitudinaux dans un conducteur parfait.*

Les égalités (26), (32) et (41) donnent :

$$\frac{\varepsilon}{\frac{\mathfrak{C}^2}{2}}\,\frac{1}{(1+4\pi f_0)4\pi\varepsilon K_0} = \frac{\varepsilon}{\frac{\mathfrak{A}^2}{2}}\,\frac{1}{\lambda},$$

ou bien, en vertu des égalités (19) et (38),

$$(42)\qquad \Theta = \frac{\mathfrak{A}}{\mathfrak{C}} = \sqrt{\frac{4\pi\varepsilon K_0}{1+4\pi\varepsilon K_0}}.$$

Cette égalité donne la signification théorique de la constante Θ.

Si, comme on le suppose volontiers, εK_0 est une quantité très petite, Θ a une très grande valeur.

Les égalités (36) et (41) donnent :

$$(43)\qquad \tau_0 = V.$$

Dans l'éther, *les flux de déplacement transversaux se propagent avec une vitesse égale à la vitesse de la lumière.*

C'est la proposition célèbre, déjà énoncée par Maxwell, et que diverses expériences, dont le dispositif a été imaginé par Hertz, ont directement vérifiée.

En vertu des égalités (25), (38) et (42), on peut écrire :

$$\mathfrak{T}_0 = \sqrt{\frac{\varepsilon}{\frac{\mathfrak{Q}^2}{2}}\,\frac{1}{(1+4\pi f_0)(1+4\pi\varepsilon K_0)}}$$

ou bien, en vertu des égalités (13) et (14),

$$(44)\qquad \mathfrak{T}_0 = v = V,$$

Ainsi, *dans l'éther les flux de déplacement longitudinaux se propagent, eux aussi, avec une vitesse égale à celle de la lumière.*

Les égalités (43) et (44) donnent :

$$(45)\qquad \tau_0 = \mathfrak{T}_0.$$

Dans l'éther, les flux de déplacement transversaux et les flux de déplacement longitudinaux se propagent avec la même vitesse.

Cette égalité est particulière à l'éther. En général, on a, en vertu des égalités (25) et (26),

$$\frac{\mathfrak{T}}{\tau} = \sqrt{\frac{(1+4\pi f)(1+4\pi\varepsilon K)}{\lambda}},$$

ou bien, en vertu de l'égalité (38),

$$(46)\qquad \frac{\mathfrak{T}}{\tau} = \sqrt{\frac{1+4\pi f}{1+4\pi f_0}\cdot\frac{1+4\pi\varepsilon K}{1+4\pi\varepsilon K_0}}.$$

Dans un diélectrique quelconque, le rapport de la vitesse de propagation des flux longitudinaux à la vitesse de propagation des flux transversaux est la moyenne géométrique de la perméabilité magnétique et du pouvoir inducteur spécifique, tous deux rapportés à l'éther.

Cette proposition semble se prêter au contrôle de l'expérience.

§ IV. — Résumé.

En résumé, les expériences récentes de Hertz, de MM. Sarrazin et de La Rive, de M. Blondlot, et d'une foule d'autres observateurs, convenablement interprétées, nous démontrent l'égalité de *cinq vitesses* remarquables :

1° La vitesse V de la lumière dans l'éther;

2° Le coefficient v de Maxwell, servant de passage du système électrostatique d'unités au système électromagnétique;

3° La vitesse de propagation $\mathfrak{C}$ des flux de conduction longitudinaux dans un conducteur parfait;

4° La vitesse de propagation τ_0 des flux de déplacement transversaux dans l'éther;

5° La vitesse de propagation $\mathfrak{T}_0$ des flux de déplacement longitudinaux dans l'éther.

L'égalité des cinq vitesses détermine la signification théorique des deux constantes λ et Θ, introduites en électrodynamique l'une par Helmholtz, l'autre par nous-même.

Nous pensons, en outre, que le présent travail, peut contribuer à rattacher l'interpréta-

tion des expériences Hertziennes à la théorie électrodynamique de Helmholtz, et, par là, aux doctrines classiques de l'électricité.

P. DUHEM.
Professeur de Physique théorique
à la Faculté des sciences de Bordeaux.

LAMPE A ARC
A TRACTION MAGNÉTIQUE
« LA MODERNE »
SYSTÈME KLOSTERMANN

Appliquer aux lampes à arc un principe nouveau n'est pas affaire commune et les électriciens nombreux qui ont eu à s'occuper de lampes à arc en connaissent quelque chose et désirent, parmi les nombreux types qui sont offerts aujourd'hui au public, rechercher avant tout la simplicité des mécanismes et la constance du réglage.

A ce dernier point de vue la plupart des dispositifs adoptés sont sujets à des déréglages résultant soit de l'usure des pièces, soit de l'affaiblissement des ressorts moteurs de certaines parties du mécanisme.

Le desideratum recherché par les inventeurs est surtout d'obtenir le réglage continu afin de réduire le plus possible les variations de longueur de l'arc.

Dans un certain nombre de régulateurs récents, le rapprochement des charbons est obtenu au moyen d'un cliquet actionné électromagnétiquement et automatiquement par les variations de l'arc lui-même et poussant sur une roue à denture plus ou moins fine dont le mouvement est solidaire de celui des porte-charbons.

En général quelques soins qui puissent être apportés dans la construction du cliquet et de la roue, l'une ou l'autre des pièces finit par s'émousser et il se produit ou bien des dérapages ou des manques dans l'avancement de la roue; il en résulte qu'après quelques mois de fonctionnement, le régulateur qui était réglé avec grande précision fonctionne mal ou moins bien et nécessite une réparation sinon le remplacement des pièces défectueuses.

Ce sont ces écueils que, dans la lampe à arc « la Moderne », M. Klostermann a cherché à éviter et à ce titre le nouveau régulateur présente des dispositions ingénieuses aussi simples qu'heureuses.

Il n'y a, dans la lampe « la Moderne », aucun rouage; tous les mouvements de l'appareil sont électromagnétiques. L'organe flexible, généralement une cordelette en soie, plus ou moins extensible, qui relie les deux porte-charbons dans les régulateurs à cliquet est remplacé ici par une chaînette en métal.

En principe, le réglage est obtenu au moyen d'un électro-aimant dont le noyau mobile est à proximité d'un volant en fer et porte à sa partie supérieure un sabot articulé après le noyau et ayant la forme d'un coin; ce sabot, dès que le noyau est aimanté, se déplace de façon à rendre minimum l'entrefer qui le sépare du volant et vient se coller contre celui-ci en le forçant à suivre le mouvement de descente du noyau de l'électro.

La forme en coin du sabot favorise l'adhérence avec le volant en déterminant au contact une induction assez élevée par suite de l'étranglement du flux.

En somme, on utilise dans cet appareil une dérivation magnétique à travers le volant solidaire des porte-charbons.

L'allumage est obtenu par un moyen analogue grâce à un électro-aimant à noyau mobile qui, lorsque le courant passe, est attiré à l'intérieur de la bobine et vient en même temps adhérer légèrement contre une petite roue en fer qu'il entraîne; le déplacement de cette roue suffit pour produire l'écart nécessaire à l'allumage.

L'adhérence du noyau avec la petite roue ne gêne pas le réglage par la grande roue mais forme amortisseur en cas de tendance à des réglages trop brusques à l'allumage.

Il suffit maintenant de se reporter à la coupe schématique (fig. 1) pour se rendre compte de la construction et du fonctionnement de détail de ce régulateur.

Comme dans la plupart des lampes à arc le pôle positif est à la masse mais le passage du courant principal au charbon positif est assuré par un câble souple.

Au repos, les charbons étant en contact, le courant arrive du charbon négatif à un solénoïde E dont l'autre extrémité correspond à la borne négative qui est isolée.

L'intérieur du solénoïde est occupé, à la partie supérieure, par le plongeur en fer D, tandis que la partie inférieure reçoit un noyau fixe M; un ressort de rappel r tend à maintenir la tige D contre la vis U. Cette vis U sert à régler la distance entre D et M et par suite, l'écart des charbons pour l'allumage.

En effet, dès que le courant passe par le solénoïde le plongeur D est fortement attiré et entraine la roue R' par friction; sur l'axe de R' se trouve calé un galet recevant une chaînette qui supporte les deux charbons qui se trouvent donc écartés l'un de l'autre par le déplacement de D dont la grandeur dépend de son éloignement par rapport au noyau M.

Dans la lampe « la Moderne », l'allumage est très net et les pompages sont évités par l'adhérence de la roue R' avec la tige D qui forme un frein très sensible; la tige D étant montée très librement dans l'intérieur du solénoïde aucun coincement n'est à craindre.

Le réglage est assuré par un électro-aimant E' à plongeur D', contenant un noyau fixe M' et monté en dérivation entre le charbon négatif et la masse par l'intermédiaire d'un dispositif spécial : un levier l en fer tourillonne autour de supports O isolés de la masse; le mouvement d'inclinaison du levier l est limité par une vis de butée U' isolée également de la masse. Un petit ressort x donne une position stable au levier l dont l'extrémité est garnie d'un grain de platine ainsi que la partie supérieure du plongeur D' qu'un ressort de rappel r' maintient en contact, au repos, avec le levier l.

Les extrémités du solénoïde E' sont attachées, d'une part au charbon négatif et de l'autre au levier l, le plongeur D' fermant le circuit de dérivation par la masse.

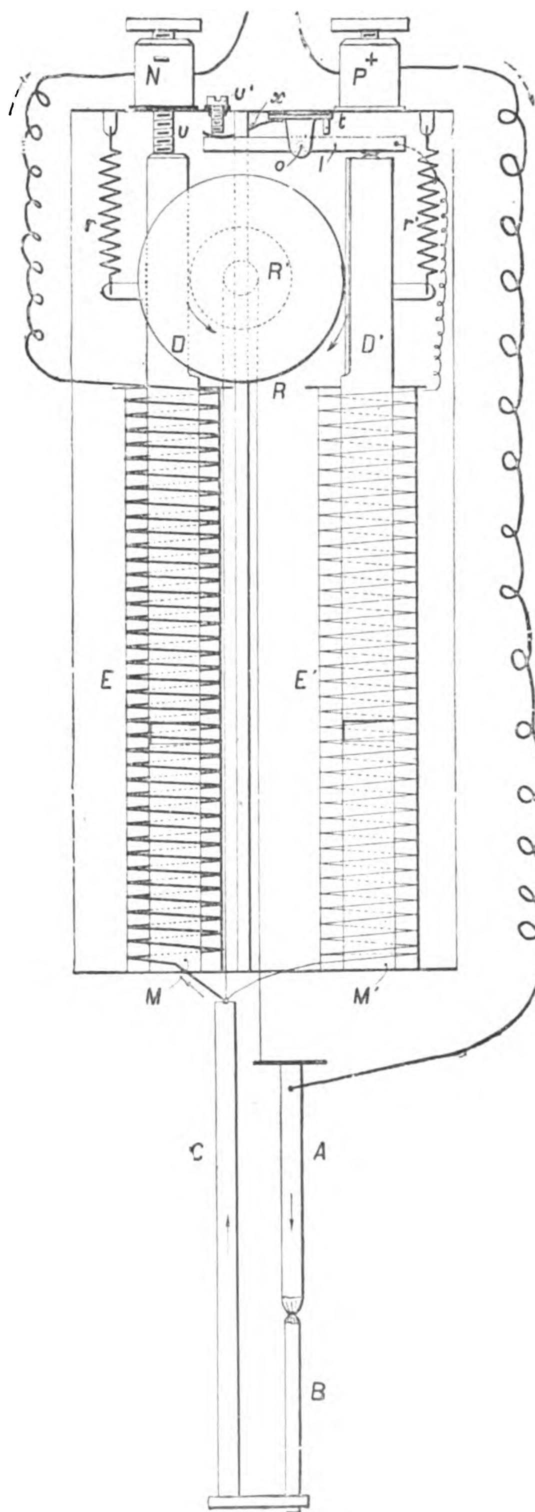


Fig. 1. — Coupe schématique du régulateur d'une lampe « la Moderne ».

L'arc étant établi, le courant de dérivation passe dans le solénoïde E' qui attire le plongeur D' dont le mouvement entraîne par attraction magnétique le levier *l*.

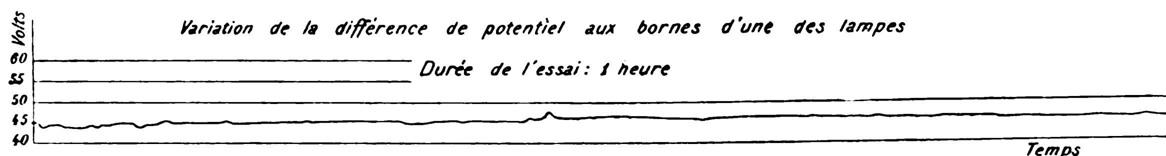


Fig. 2. — Essai de deux lampes en tension sur 110 volts; intensité 9 ampères.

En même temps un sabot en fer F en forme de coin, articulé à la partie supérieure de D' se déplace de façon à venir se coller contre un volant en fer R de grand diamètre calé sur le même axe qui porte la chaînette de suspension des porte-charbons.

Il y a, à ce moment, équilibre entre l'action antagoniste du ressort *r'* et l'attraction sur le plongeur D'. Lorsque l'arc vient à s'allonger, le plongeur D' s'enfonce dans le solénoïde entraînant au moyen du sabot F, la roue R; les charbons sont rapprochés jusqu'à ce que le levier *l* vienne buter contre la vis U'.

Le plongeur D' continuant son mouvement de descente le contact avec le levier *l* cesse, le courant de la dérivation est interrompu, le sabot F redevient libre et les ressorts *x* et *r'* rappellent *l* et D' tandis que le freinage de D empêche les charbons de se rapprocher.

Le réglage se produit pour ainsi dire instantanément à mesure de l'usure des charbons et tous les mouvements dont nous venons de parler ont une amplitude si faible qu'il est impossible, sans une attention très prolongée, de déceler le mouvement de rotation de R'.

Aucun des organes du réglage n'étant sujet à usure susceptible de compromettre le fonctionnement de l'appareil, le réglage est invariable.

La figure 2 donne la représentation de l'un des diagrammes relevé à l'aide d'un enregistreur pendant les essais de deux de ces régulateurs en tension sur 110 volts, les lampes étant dépourvues de leurs globes.

Les freinages magnétiques exercés sur les différents mobiles du régulateur sont assez énergiques, malgré leur sensibilité, pour maintenir le bon fonctionnement du régulateur même lorsque celui-ci est soumis à des oscillations fortes.

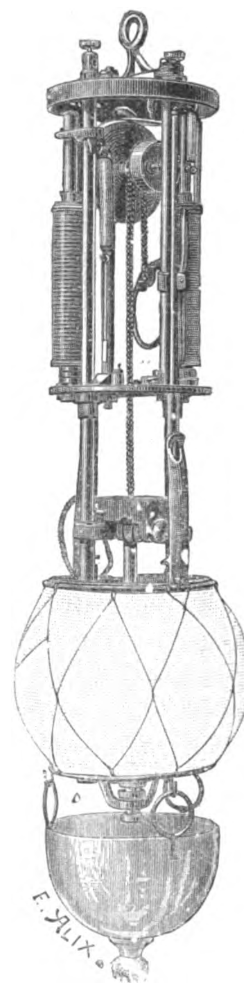


Fig. 1. — Vue d'ensemble de la lampe, l'enveloppe du régulateur étant enlevé.

La figure 3 indique une vue d'ensemble du

régulateur, la capote du mécanisme étant enlevée.

Ces lampes se construisent pour courants continus ou alternatifs.

Pour courants continus le plus petit modèle est de 3 à 4 ampères.

E. J. BRUNSWICK.

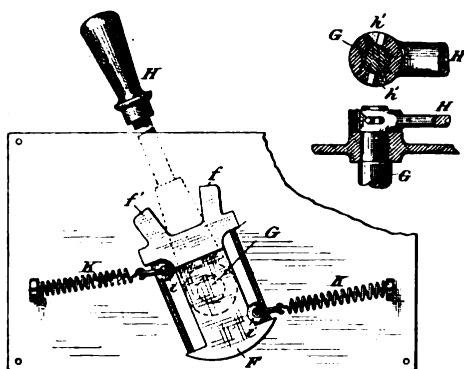
REVUE

DE LA PRESSE INDUSTRIELLE

ET DES INVENTIONS

Commutateur Knowles.

Lorsqu'on tourne l'axe G par la manette H, le bloc T est d'abord entraîné par H en tendant les ressorts K, puis, dès qu'il dépasse la



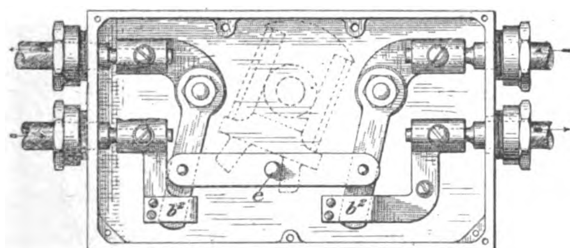


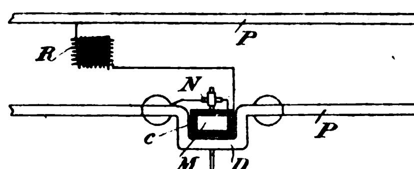
Fig. 1 à 4. — Commutateur Knowles.

verticale, ces ressorts, agissant par leurs galets *i i*, font brusquement pivoter F, ce qui peut se faire grâce aux jeux *h'h'* de H sur G., et l'une des cames *f f* de F, frappant le bouton *q*, fait ou défait vivement les contacts $b_2 b_2$. Ces contacts sont parfaitement abrités dans leur boîte isolante.

G. R.

Compteur Fish (1895).

La bobine M du petit dynamoteur de ce watt-mètre est en dérivation sur les conducteurs P P, par les balais N, et l'un des conducteurs ou barreaux de prise P, rompu aux bornes B B, se prolonge par un cadre D, entourant M aux trois quarts et constituant son



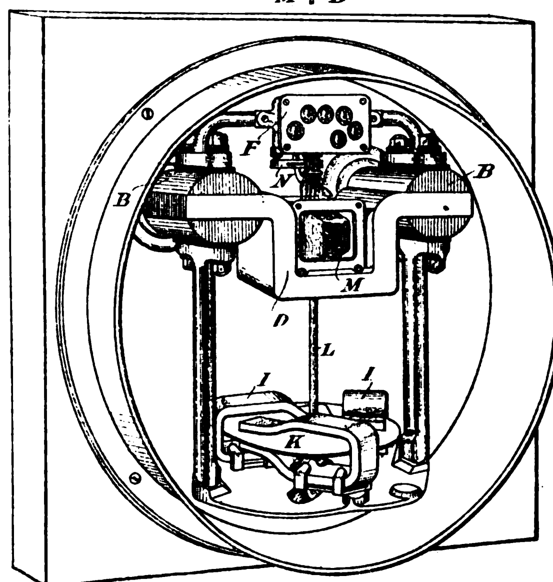


Fig. 1 et 2. — Compteur Fish.

champ inducteur principal. Un champ auxiliaire *c*, à résistance R, sert à produire au démarrage le torque nécessaire pour vaincre les frottements de départ de l'appareil. L'arbre L de M actionne un disque de Foucault K, tournant entre les aimants I et le compteur F.

G. R.

Coupe-circuit automatique Siemens et Halske (1893).

Le conducteur principal L : un câble de tramway par exemple, est doublé d'un fil E H, partant de son point le plus éloigné de la dynamo génératrice A, et pourvu d'un commutateur qui, dès que le courant est interrompu

en L, et par suite en H, par exemple par une rupture de L, sépare entièrement la dynamo du circuit. On évite ainsi le danger occasionné

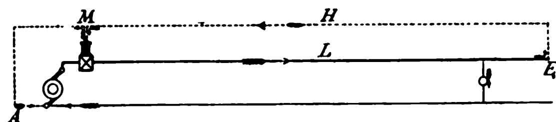


Fig. 1. — Coupe-circuit automatique Siemens et Halske.

par la chute du câble L encore relié à sa dynamo. G. R.

Galvanomètres enregistreurs Harrison.

La bobine 1 est (fig. 1 à 3) enroulée autour d'un moyeu creusé et aplati 2, dans lequel passe l'armature 3 suspendue en 4-5 et portant l'aiguille 6-7 du cylindre enregistreur 13. Dans le moyeu 2 est fixée par une barre en bronze une lamelle de fer trapézoïdale 11-11$_a$, qui augmente la puissance de répulsion de l'armature 3, de même polarité que 11 ; un contrepoids 12 règle la sensibilité de l'appareil. On obtient ainsi, grâce à la longueur de l'armature 3 et de son bras de levier 4, et à sa proximité du fer 11 une force suffisante pour actionner aisément l'aiguille 6.

Le voltmètre représenté par les figures 4 à 6 se compose d'un électro-aimant à fils fins 16, entre les pôles 15$_a$ duquel est fixé, par une plaque de bronze, un cylindre en fer 17 (fig. 6)

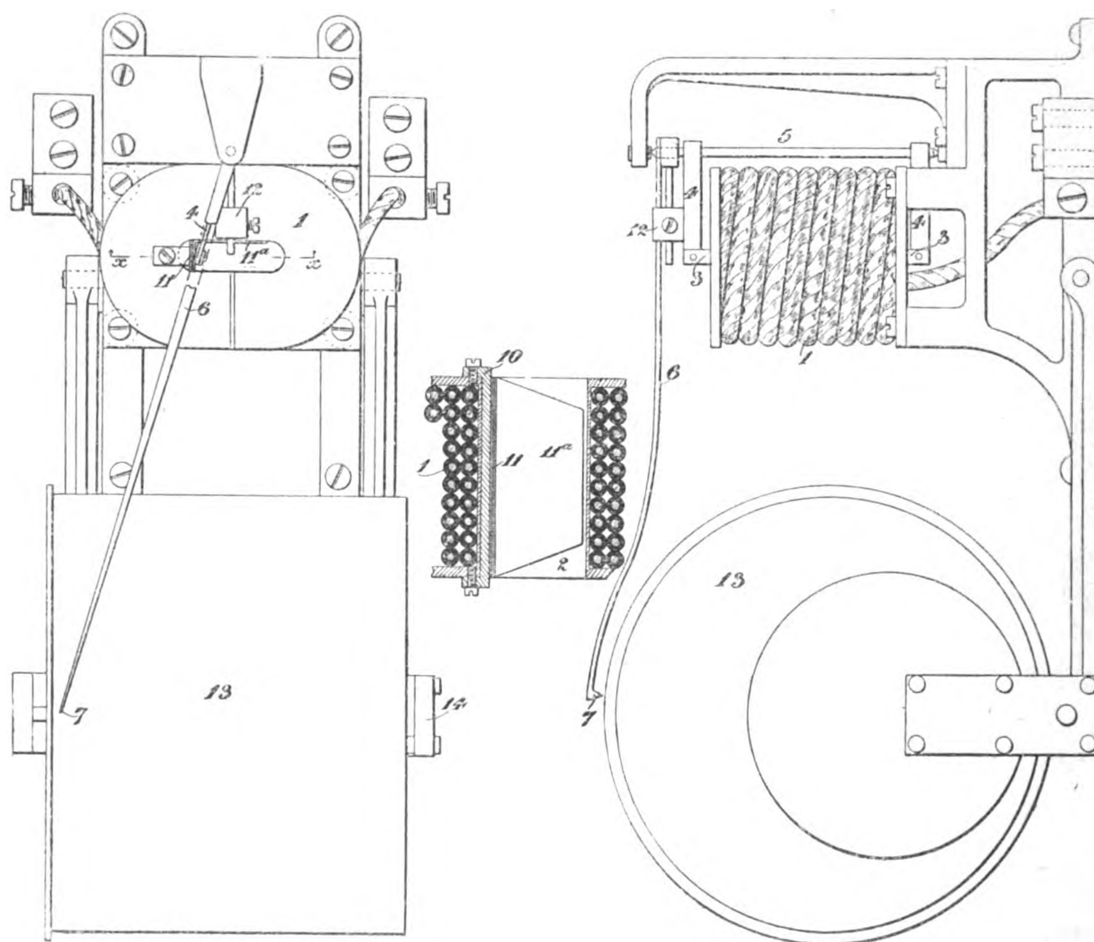


Fig. 1 à 3. — Galvanomètre Harrisson. Élévation, vue par bout et détail de l'armature 11-3.

avec un jeu 19 permettant l'insertion d'une petite bobine 25-21 en série avec 16 dont l'axe 5 porte l'aiguille 6 et son contrepoids 12. Le courant passe de 16 à 20 par les plissés 22,

qui n'affectent pas la liberté de la bobine 20. Une fois l'armature 15_a parvenue à son point

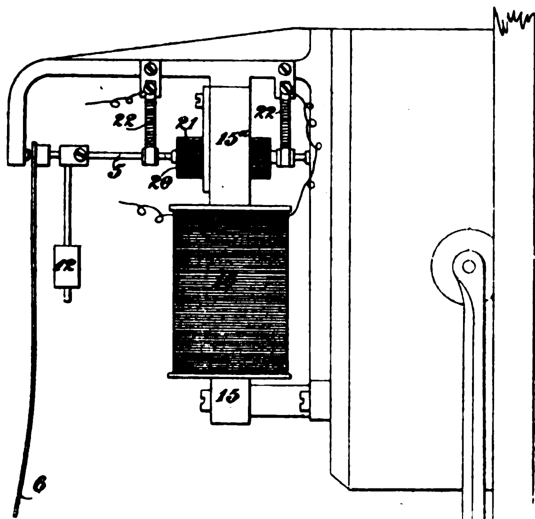


Fig. 4. — Voltmètre Harrisson. Vue latérale.

de saturation magnétique, l'erreur due à l'hystérésis devient négligeable, et c'est à partir du

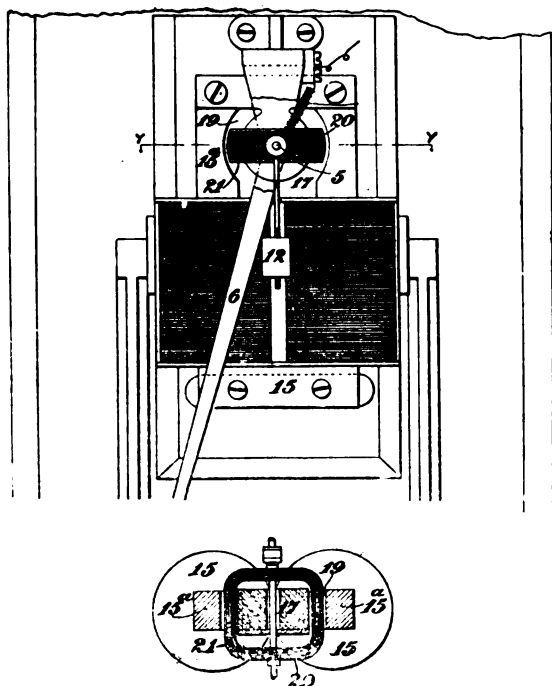


Fig. 5. et 6. — Voltmètre Harrisson, Vue de face et coupe yy.

voltage correspondant à ce point que commence l'échelle utilisable de l'appareil. S'il doit, par exemple, fonctionner entre 60 et 120 volts, la bobine 16 est telle que le point de saturation soit atteint à 60 volts, et le contrepoids 12 établi de façon que l'aiguille démarre à cette tension. G. R.

Transformateur variable Edison Swan (1893).

Le secondaire S est enroulé sur une armature crénelée annulaire fixe et le primaire P sur une armature qui peut tourner dans l'autre.

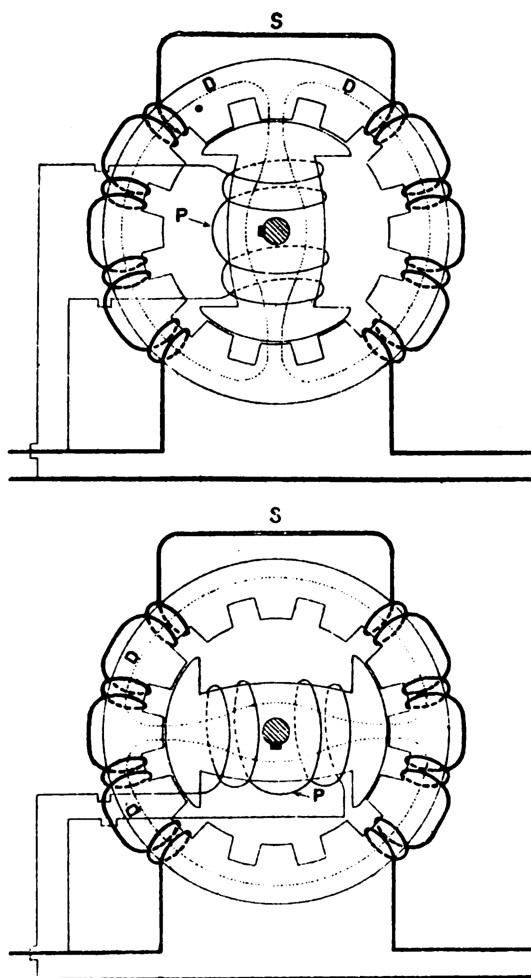


Fig. 1 et 2. — Transformateur variable Edison Swan.

Quand elle occupe la position figure 1, le transformateur agit avec sa puissance maxima; en figure 2, sa puissance est nulle, parce que les courants induits dans les deux branches de S, suivant DD, sont égaux et opposés, et la puis-

sance du transformateur peut aussi se régler et le sens de ses courants renverser suivant la position de P. G. R.

Tramway à trolley souterrain de la General Electric Co.

Maintenant que le développement des tramways en Amérique a acquis toute son intensité, les Compagnies voient les exigences des Cités augmenter. Pour lutter convenablement dans la campagne, le plus souvent excessive, entamée contre le *trolley mortel*, les constructeurs recherchent la solution dans l'emploi de canalisations souterraines. Ce système aurait de grands avantages et permettrait de donner satisfaction à la fois au public et aux municipalités. D'ailleurs, sans prétendre attribuer une grande efficacité aux protestations européennes au nom de l'art contre l'aspect générales des voies américaines, il est indubitable qu'un mouvement considérable se développe dans les grandes villes des Etats-Unis contre l'encombrement des airs par les fils tendus par les électriciens de tous genres. Les Américains n'ayant pas l'habitude de rester à court d'idées vont certainement, à bref délai, réussir à établir un type de tramway à canalisation souterraine susceptible d'un fonctionnement réellement pratique. Il est probable qu'alors le mouvement en faveur de la traction électrique ira en s'accentuant de plus en plus.

Cette solution attendue et qui sera obtenue peut-être à grands frais d'études et d'essais, donnera-t-elle l'avantage au caniveau ouvert avec trolley souterrain, ou bien montrera-t-elle la supériorité des systèmes à conduit fermé et à prise de courants par relais? c'est d'un avenir prochain, espérons-le, qu'il faut attendre la réponse.

Pour le moment les deux systèmes ont leurs avantages, leurs inconvénients et naturellement leurs partisans. Dans notre pays, le tramway de l'Exposition de Lyon, système *Claret et Wuilleumier* est le type du second genre; le premier genre n'a pas de représentants en France et croyons-nous, Buda-Pesth possède jusqu'ici le seul tramway à canalisation souterraine en Europe.

Aux États-Unis, la *Westinghouse Electric Company* s'est rendue récemment acquéreur des brevets relatifs à la construction de lignes souterraines avec caniveaux fermés et relais fermant les circuits des moteurs sur des sections successives d'un conducteur placé entre les rails et relié aux feeders seulement pendant le passage même de la voiture sur la section considérée.

Un grand nombre de systèmes à caniveau ouvert et conducteur souterrain ont déjà été expérimentés et l'un des plus récents est celui adopté par la *General Electric Company* chargée, pour le compte de la *Metropolitan Street Railway Company*, de New-York, de l'établissement d'un tramway à canalisation souterraine sur *Lennox Avenue.*

D'après le *Street Railway Journal* l'installation fonctionne depuis peu et dans de bonnes conditions.

Les règles de la plus grande prudence ont servi de base à l'établissement de la ligne de façon à réduire au minimum les dommages qui pourraient survenir d'un arrêt dans le service. Toute l'installation a été prévue comme pour une traction par câble, de sorte qu'en cas d'insuccès de l'électricité, le remplacement du matériel électrique par le funiculaire puisse se faire sans perte de temps et avec la moindre dépense possible.

Le district actuellement desservi est pour le présent un peu épars mais le procédé américain s'en inquiète fort peu : si l'installation réussit, c'est elle qui attirera les voyageurs et peuplera la région.

Cependant la station est de construction provisoire et comprend 2 génératrices de 400 kw. sous 350 volts. On remarquera qu'ici la *General Electric* s'est écartée très sensiblement de la pratique courante admise pour les tramways en Amérique; ordinairement en effet la différence de potentiel pour les lignes est de 500 volts.

Les câbles partant du tableau de distribution passent sous les trottoirs de la 146e rue,

où est sise l'usine, jusqu'à Lennox Avenue où ils sont introduits dans des tuyaux en fer de 130 mm. de diamètre suivant parallèlement le caniveau. Ultérieurement l'alimentation directe par la station sera probablement remplacée par une alimentation par feeders reliés aux conducteurs de la ligne aux points convenables.

Le système de canalisation souterraine est particulièrement simple.

Le frotteur suspendu après les traverses du car passe à travers la fente du conduit placé le long du centre de la voie et presse contre la surface lisse de deux conducteurs en fer régnant dans la longueur entière du conduit.

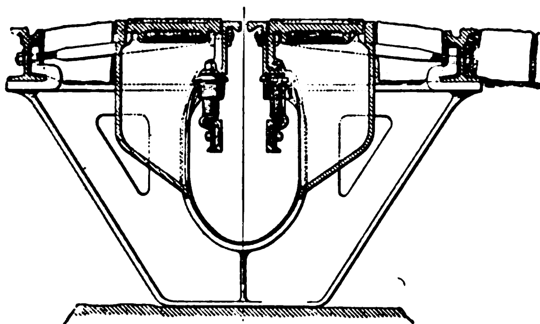


Fig. 1. — Coupe du caniveau. Conducteurs suspendus.

Ces conducteurs sont à environ 80 mm. de l'axe de la fente de façon à éviter les effets des boues et de la pluie; ils sont formés de fers en U pesant 11 kg. le mètre mesurant 100 mm. de hauteur et environ 9 m. de longueur. Ces rails sont placés dans le caniveau comme l'indiquent les figures 1 et 2 et maintenus par des isolateurs disposés spécialement.

Chaque isolateur est tenu par un bras en fonte auquel est fixé un boulon. La tige de ce boulon est garnie d'une composition isolante de 6 mm. d'épaisseur renforcée d'une bague de mica de 30 mm. noyée dans une épaisseur de porcelaine de 10 mm. La tête du boulon est garnie d'une composition isolante et placée dans une douille fixée au moyen de deux boulons après le conduit,

Les isolateurs sont placés à 4 m., 50 environ d'intervalle en voie droite ; au-dessus de chaque isolateur se trouve un regard et de deux en deux ces regards sont remplacés par des trous d'homme.

Les conducteurs sont reliés les uns aux autres par des liens de cuivre soigneusement rivés dans l'âme des fers en U.

La figure 2 nous montre une modification du système de suspension : les fers en U, au lieu d'être suspendus à la partie supérieure du conduit sont fixés sur des piliers en maçonnerie; les fers ont alors 125 mm. de hauteur et sont placés à 300 mm. au-dessous de la fente.

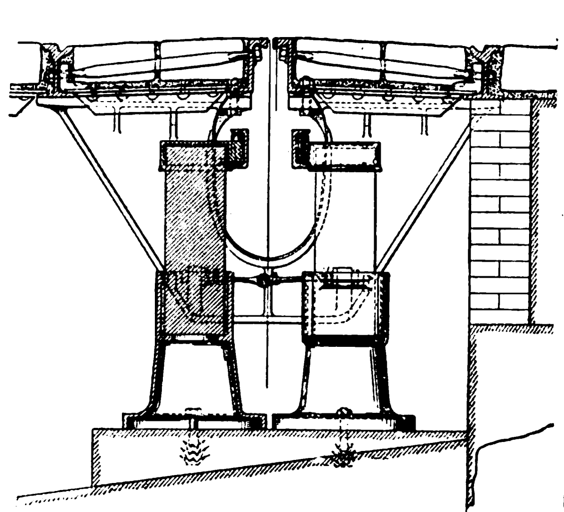


Fig. 2. — Coupe du caniveau. Conducteurs fixés sur piliers.

Les piliers sont munis de chapeaux en fonte avec bras auxquels les conducteurs, convenablement isolés, sont boulonnés. Les joints entre les différents tronçons sont assurés alors par des rubans de cuivre rivés dans les âmes. Les piliers sont supportés par des socles en fonte fixés dans le conduit.

De 50 en 50 mètres environ, les regards sont reliés téléphoniquement à la station et munis d'interrupteurs permettant d'isoler, au besoin, une section quelconque en cas d'accident.

Les trous d'homme dont il est parlé plus haut occupent la distance entière entre les deux voies; ils ont 1 m., 30 de haut et 1 m., 20 de long. Le fond est bétonné et muni de drains pour l'eau.

Le conduit a une pente suffisante pour rejeter l'eau jusqu'aux regards et de là aux égouts.

Fig. 3. — Coupe d'un regard et détails de montage des conducteurs.

Dans cette installation, chaque conducteur forme un des côtés du circuit qui est ainsi complètement isolé de la voie.

Fig. 4. — Vue du frotteur.

Le soc ou frotteur représenté par la figure 3 comporte deux pièces de contact en fonte supportées par des ressorts qui les appuient contre les ressorts avec une pression d'au moins 3 kg. Ces pièces de contact sont munies de conducteurs souples formés de feuilles de cuivre reliées en outre à des points fixes du truck.

Au passage très étroit de la fente les conducteurs souples sont protégés par une feuille d'acier manganésé.

Une forte épaisseur de fibre saillante entre les pièces de contact prévient la formation des arcs.

Quant aux moteurs employés ils sont du type ordinaire de la *General Electric*.

Disons pour terminer que les cars sont éclairés par 3 groupes de 3 lampes à incandescence.

E. J. B.

Installation triphasée à Winooski (1).

L'installation triphasée Westinghouse installée pour le compte de la Compagnie électrique Vermont, à Winooski (Etats-Unis) à l'effet de distribuer de la force motrice à la ville de Burlington, présente plusieurs côtés intéressants.

L'équipement électrique de la station génératrice consiste en un alternateur Westinghouse, fournissant 46 ampères, sous 2 500 volts, tournant à 450 tours par minute, et ayant une fréquence de 7 200 alternances par minute. La machine est hypercompounde et élève le voltage initial de 10 p. 100 à pleine charge. Elle présente 16 pôles, et possède une armature dentée à enroulement en tambour. Elle peut être actionnée soit par une turbine, soit par une machine à vapeur. L'excitatrice est mue par l'arbre de la génératrice.

La ligne de transmission, de 4 km. de longueur, est en fil isolé de 8 mm. de diamètre. Le réseau secondaire de distribution est également en fil de 8 mm. Les circuits primaires sont posés sur des isolateurs en verre blanc,

(1) *The Electrical Engineer*, New-York.

les secondaires sur des isolateurs en verre vert.

Les conducteurs secondaires sont alimentés par deux groupes de transformateurs en parallèle, consistant chacun en deux transformateurs de 18 3/4 kilowatts installés dans des édicules maçonnés à deux compartiments, dont l'un à l'extérieur du bâtiment est muni d'une trappe donnant accès aux coupe-circuit, et l'autre dans les fondations, semblable au premier, mais présentant les coupe-circuit primaires à l'extérieur sur une console. Ces deux voûtes sont parfaitement ventilées et une place y est réservée pour un troisième transformateur.

Les moteurs triphasés, avec armature en cage d'écureuil et enroulement inducteur uniformément distribué, actionnent des presses d'imprimerie, des ascenseurs et des machines-outils variées. Beaucoup de petites industries ne se servent que de la force motrice électrique, et plus de 100 chevaux sont déjà distribués entre de petits moteurs. Chaque moteur est muni d'un coupe-circuit, d'un commutateur tripolaire et d'un compteur Shallenberger. Cette installation est en plein développement, et l'on se propose de l'agrandir avant peu. A. H.

Sur la construction des alternateurs par H. Besen-Eschemburg (1).

Le facteur le plus caractéristique des qualités et du rendement d'un alternateur, c'est la chute de potentiel, c'est-à-dire la différence entre les tensions aux bornes de la machine à vitesse et excitation constantes lorsque l'armature est à circuit ouvert, ou au contraire parcourue par un courant de différence de phase quelconque. En d'autres termes, ce qu'on appelle la chute de potentiel d'une machine, c'est la différence entre les tensions de la machine à vide et à une charge donnée, excitation et vitesse restant constantes.

La chute de potentiel est généralement déterminée : 1° par la self-induction de l'armature; 2° par la résistance de l'armature ; 3° par la réaction des courants de Foucault induits principalement dans la masse de fer des inducteurs. Ces trois facteurs peuvent être considérés comme des forces électromotrices, avec certaines différences de phase, et produisant avec la f. é. m. de la machine la tension aux bornes.

Ces trois f. é. m. sont proportionnelles au courant de charge et peuvent être représentées dans le diagramme polaire bien connu (fig. 1), en grandeur et en phase par e_1, e_1, et e_2. Dans le même diagramme I représente le courant dans l'armature, c'est-à-dire le « courant de charge » de la dynamo. E est la différence de potentiel aux bornes de la dynamo à circuit ouvert. L'orientation de ces diverses grandeurs

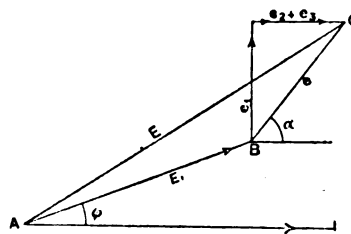


Fig. 1.

est déterminée par la différence de phase qu'elles présentent par rapport à I.

Par la nature des choses, la différence de phase existant entre la f. é. m. e_1 de self-induction et I est $\frac{\pi}{2}$, et entre e_2 et e_3 et le courant la différence de phase est nulle. Enfin, au régime de charge choisi pour la dynamo, il existe entre la tension aux bornes E_1 et le courant I une différence de phase Φ définie par la relation :

$$P = E_1 I \cos \Phi, \qquad (1)$$

Pour des transformateurs d'éclairage Φ est d'environ 10°, et cos Φ est pratiquement = 1 ; dans les moteurs asynchrones on a pour Φ environ 35° et pour cos Φ environ 0,85.

La chute de potentiel est égale à $E - E_1$ et peut être tirée du diagramme. Le même diagramme peut être employé avec les moteurs synchrones en remplaçant E_1 par la f. é. m. du moteur.

(1) *The Electrician*, 2 août 1895.

La résultante e des trois f. é. m. e_1, e_2, e_3, qui présentent par rapport à I une différence de phase α, représente la force contre-électromotrice totale de l'armature en charge. La résistance apparente ou l'impédance R de l'armature est définie par la formule

$$R = \frac{e}{I}. \qquad (2)$$

Il est important, dans l'étude des alternateurs, de calculer d'avance cette impédance R ou la force contre-é. m. e ; ces facteurs, une fois déterminés, tous les autres se déduisent aisément de la figure 1.

A cet effet, l'auteur emploie depuis longtemps la méthode suivante : avant tout, on construit la caractéristique de la f. é. m. E de la

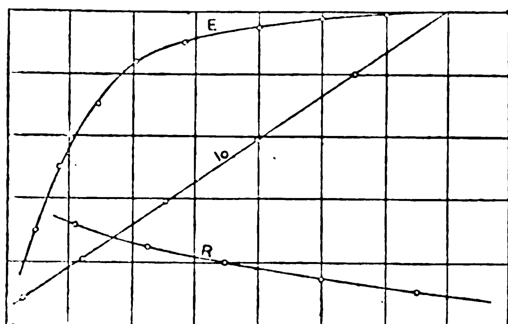


Fig. 2.

dynamo (fig. 2). Une autre caractéristique I_0 est alors déterminée avec l'armature en court-circuit sur un ampèremètre. En ordonnées on porte le courant en ampères, et en abscisses les ampères-tours d'excitation. Cette courbe I_0 diffère très peu d'une droite, mais pour de fortes aimantations elle devient légèrement convexe.

Dans le cas de l'armature en court-circuit, le diagramme figure 1 est à modifier de façon que E = o ; nous obtenons alors (fig. 3), e = E et

$$R = \frac{E}{I_0}. \qquad (3)$$

Les valeurs de R ainsi calculées nous fournissent la caractéristique de la résistance apparente.

Pour toute valeur du courant de charge I, on obtient e par l'équation e = R I, et E_1 et Φ peuvent être tirés du diagramme. Si, d'autre part, pour une certaine excitation, E, Φ et I sont donnés et E_1 à déterminer, ou si E, E_1 et I sont donnés et Φ à déterminer, les formules à employer se déduisent du triangle ABC ; elles s'écrivent :

$$\cos(\alpha - \Phi) = \frac{E^2 - E_1^2 - e^2}{2E_1 e}. \qquad (4)$$

$$E_1 = E - e\cos(\alpha - \Phi) - \frac{1}{2}\frac{e^2 \sin^2(\alpha - \Phi)}{E} \qquad (5)$$

Finalement, pour déterminer la différence de phase α entre e et I_0, il faut mesurer en outre la puissance absorbée E I_0 cos α. Dans les dynamos bien construites α est supérieur à 80° et peut être égalé approximativement à $\frac{\pi}{2}$, ce qui indique que les pertes dans le cuivre et par

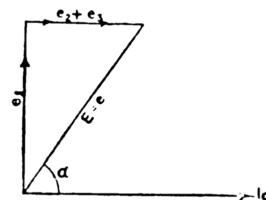


Fig. 3.

courant de Foucault sont petites par rapport à la chute de potentiel. La composante $e_1 = I_r$ se détermine aisément en mesurant la résistance r de l'armature. La composante e_2 due aux courants de Foucault croît à peu près comme le carré de la fréquence et peut ainsi être différenciée expérimentalement de e_1. Il est à remarquer que dans la plupart des cas, les auteurs semblent négliger e_3. On peut calculer α lorsque les mesures ont fourni E_1, E, I et Φ aux différentes charges.

Si l'on admet approximativement $\alpha = \frac{\pi}{2}$, les formules (4) et (5) pour E_1 et Φ se simplifient et deviennent

$$\sin \Phi = \frac{E^2 - E_1^2 - e^2}{2E_1 e}, \qquad (6)$$

$$E_1 = E - e \sin \Phi - \frac{1}{2}\frac{e^2 \cos^2 \Phi}{E}. \qquad (7)$$

Pour les deux cas extrêmes $\Phi = 0$ et $\Phi = \frac{\pi}{2}$, nous avons respectivement

$$E_1^2 = E^2 - e \qquad \Phi = 0 \qquad (7a)$$

$$E_1 = E - e \qquad \Phi = \frac{\pi}{2}, \qquad (7b)$$

Dans la figure 4 on a tracé les courbes caractéristiques des différences de potentiel pour les deux cas limites $\Phi = 0$ et $\Phi = \frac{\pi}{2}$. Entre ces courbes 1 et 2 doivent se trouver, pour toutes les valeurs possibles de Φ, toutes les tensions de la dynamo correspondant au courant I.

Cette méthode, outre qu'elle donne la quantité R, nous fournit aussi une image nette des

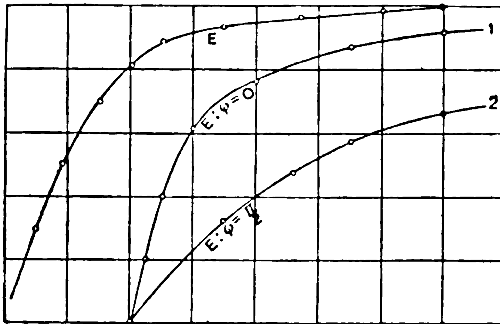


Fig. 4.

conditions qui déterminent la dispersion du champ magnétique. Les ampères-tours de l'armature agissent sur le circuit magnétique comme les ampères-tours de la bobine inductrice. Celles d'entre les lignes de force émanant d'une bobine qui ne coupent pas l'autre sont dites dispersées. Admettons que S_1 pour cent des lignes induites par la bobine inductrice, et S_2 pour cent de celles dues à l'armature sont perdues par dispersion. Le nombre de tours de l'inducteur sera par exemple N_1, celui de l'armature N_2, les deux nombres étant réduits au même circuit magnétique. Cette réduction peut s'effectuer aisément à l'aide d'un diagramme dans lequel les circuits fermés des lignes magnétiques sont considérés comme des conducteurs linéaires, comme dans un diagramme de courants électriques ; les ampères-tours de l'armature et de l'inducteur y sont portés comme forces magnétomotrices (analogues aux f. é. m,), aux points où les spires sont coupées par des lignes de force. Le nombre de lignes de force se calcule par l'application des lois de Kirchhoff.

Quand l'armature est en court circuit, un équilibre doit exister entre la force m. m. des courants de l'armature et celle des bobines inductrices, abstraction faite des lignes dispersées et des ampères-tours qui induisent les forces électromotrices e_2 et e_3. Cet équilibre fournit l'importante relation suivante :

$$(1 - S_1)\, i_0 N_1 = \frac{(1 + S_2)\, I_0 N_2}{\sin \alpha}\, 1{,}4 \qquad (8)\text{ (1)}$$

i_0 étant l'intensité du courant excitateur. Le facteur 1,4 détermine le maximum des ampères-tours avec la valeur moyenne de I_0.

Si le système inducteur ne comporte qu'une bobine d'excitation, N_1 doit être multiplié par le demi-nombre de pôles, et si l'armature comporte p phases, N_2 est à multiplier par $\frac{p}{2}$.

De l'équation (8), qui ne nécessite que la mesure des valeurs I_0, on déduit pour chaque excitation le rapport de la force contre-électromotrice e à la f. é. m. E de la dynamo pour un courant de charge I, en d'autres termes, la chute de potentiel relative. En effet,

$$\frac{e}{E} = \frac{I}{I_0} = \frac{IN_2}{i_0 N_1} \times \frac{1{,}4\,(1 + S_2)}{(1 - S_1)\sin \alpha} \qquad (9)$$

c'est-à-dire que e est à E comme le courant de charge au courant de court circuit, ou comme le nombre d'ampères-tours de l'armature multiplié par 1,4 à celui de l'inducteur.

---

(1) Cette équation est tirée de la figure 3, qui donne $\sin \alpha = \frac{e_1}{e}$. Or e dépend du flux coupant l'armature, soit de $i_0 N_1 (1 - S_1)$; la valeur de e_1 (f. é. m. de self-induction) est due à toutes les lignes de force produites par l'armature, soit à $I_0 N_2$ 1,4. Comme le fait remarquer le rédacteur de l'*Electrician*, il est donc incorrect d'ajouter $I_0 N_2$ 1,4 × S_2, puisque l'expression précédente comprend déjà les lignes de force dispersées. Si l'on adopte cette manière de voir, les équations suivantes sont à modifier dans ce sens.

De plus,

$$\frac{(1 + S_2)\ 1{,}4}{(1 - S_1)\sin\alpha} = \frac{i_o N_1}{I_o N_2}. \qquad (10)$$

La dispersion S_1 est facile à calculer connaissant les principales dimensions de la dynamo, et la formule (10) donne donc la valeur de S_2 qu'il serait difficile de déterminer autrement.

La résistance magnétique totale X du circuit magnétique inducteur et de l'armature s'établit de la manière habituelle par les résistances individuelles de l'entrefer et du fer à l'induction choisie. Si nous désignons par B le flux total produit par l'inducteur, et par n la fréquence, nous pouvons appliquer les formules suivantes :

$$E = \frac{BN_2\ 2\pi n}{1{,}4 \times 10^8}; \quad (11) \qquad 1{,}2\ i_o N_1 = BX(1 + S_1); \quad (12)(1)$$

$$1 + S_1 = \frac{5{,}4\ i_o N_1 N_2 n}{EX\ 10^8},$$

Pour le cas du court circuit, nous avons $I_0 R = E$, et

$$R = \frac{7{,}5 N_2^2 n\ (1 + S_2)}{X(1 + S_1)(1 - S_1)\sin\alpha\ 10^8}, \qquad (13)$$

Cette dernière équation nous montre l'importance de la résistance apparente R de la dynamo au point de vue de la construction. R est proportionnel à n et au carré du nombre de tours N_2. Pour de plus hautes saturations du fer R décroît, puisque la résistance magnétique X croît.

L'auteur pense avoir donné dans ces formules une méthode pratique permettant de comparer et de discuter les qualités des alternateurs. Avec les deux caractéristiques obtenues à vide et en court circuit, on peut prédéterminer jusqu'à quelles limites du courant et du décalage un alternateur peut maintenir une différence de potentiel donnée.

A. H.

(1) Si X désigne la résistance magnétique du circuit que suit le flux B traversant l'armature et l'inducteur, on a $1{,}2\ i_0 N_1 = BX + BS_1 M$, en appelant M la résistance magnétique de la partie du circuit qui reçoit le flux dispersé et celui coupant l'armature. Par conséquent, il faut observer avec l'*Electrician* que l'équation (12) n'est applicable que si l'on admet la même résistance magnétique pour le chemin suivi par le flux dispersé que pour le circuit de l'induit. L'équation (13) est donc aussi à modifier.

REVUE DES SOCIÉTÉS SAVANTES

ET DES

PUBLICATIONS SCIENTIFIQUES

Sur la résistance intérieure des piles et des voltamètres, par W. Greef (1).

Lorsqu'une pile débite un courant i sous une force électromotrice e_i et une différence de potentiel d, sa résistance intérieure est donnée par

$$r_i = \frac{e_i - d}{i}.$$

Pour mesurer les quantités i et $e_i - d$, l'auteur ferme la pile sur deux circuits I et II. Le circuit I sert à obtenir et à mesurer à l'aide d'un galvanomètre de torsion de Siemens une intensité de courant voulue. Dans le circuit II on détermine la f. é. m. de l'élément à circuit ouvert et la différence de potentiel pour le débit i en employant un galvanomètre à miroir, avec une résistance additionnelle de 130 000 ohms. A l'aide d'un circuit III, ayant une partie commune avec le circuit II et contenant deux accumulateurs, on peut compenser la différence de potentiel aux bornes de l'élément en se servant d'un rhéostat.

Un quatrième circuit, enfin, permet de mesurer la résistance de l'élément avec des courants alternatifs par la méthode d'Elsas (bobine d'induction différentielle avec téléphone).

On commence par fermer le circuit I contenant une résistance extérieure donnée, et on lit l'intensité de courant; puis on ouvre ce circuit en fermant simultanément le circuit II pour lire au galvanomètre la f. é. m. e_i qu'avait l'élément en débitant le courant i, et qu'il conserve encore quelque temps après la rupture

(1) D'après l'*Electrot. Zeitschr.*, 1er août 1895.

du circuit. On répète ces mesures et on règle le circuit III jusqu'à ce qu'on arrive à compenser e_1, au moins pour un certain temps, car après l'ouverture du circuit I la f. é. m. tend à croître. Cette compensation étant réalisée, on laisse II fermé et on ferme également I. L'élément présente alors la f. é. m. e_1, débite le courant i, et le galvanomètre du circuit II est traversé par un courant donnant une déviation $e_1 - d$, ce qui permet de calculer r_1.

On a étudié ainsi des éléments Daniell, Meidinger, Leclanché et un petit accumulateur. Dans tous ces cas, on a reconnu que la résistance intérieure décroît lorsque le débit augmente, d'abord très vite, ensuite plus lentement, en tendant vers une limite. Si l'on fait diminuer ensuite le courant, la résistance remonte, mais sans atteindre les premières valeurs correspondantes. La courbe est d'autant plus aplatie, que la quantité d'électricité enlevée à l'élément a été plus grande. La courbe se relève au contraire quand on laisse reposer l'élément.

Les mesures à l'aide de courants alternatifs ont fourni, en général, des résistances moins élevées que les mesures avec courant continu, mais le caractère général des courbes obtenues est le même. L'auteur explique l'écart entre les valeurs obtenues par la différence de phase due aux différences de capacité des résistances comparées.

Des expériences faites avec des diaphragmes, des électrodes et des voltamètres variés permettent de conclure que la diminution de résistance dans les piles doit être attribuée aux changements chimiques du liquide et principalement à la formation d'acides libres. A. H.

Contribution à l'étude de la polarisation du mercure, par M. Lietznau [1]

La méthode indiquée par M. Bouty [2] pour l'étude de la polarisation est en défaut dans le cas du mercure, par suite de la rapidité avec laquelle se produit la dépolarisation spontanée. Pour éliminer l'influence de la dépolarisation, M. Lietznau réduit autant que possible la durée de l'expérience en se servant de la même pile pour la charge et la décharge.

1° *Expérience de charge*. — Un condensateur de capacité C est chargé à une différence de potentiel V, puis déchargé à travers un galvanomètre balistique : soit Q sa charge

$$Q = CV.$$

Ce condensateur est ensuite chargé de nouveau à la même différence de potentiel V ; on le décharge partiellement à travers la pile étudiée et on mesure le résidu de charge Q_1 par le galvanomètre balistique. L'armature intérieure du condensateur et le pôle de la pile qui lui est relié se mettent au même potentiel V_1 tel que

$$Q_1 = CV_1.$$

D'autre part, la quantité d'électricité $Q - Q_1$ qui a traversé la pile lui a communiqué la f. é. m. V_1 : si on pose

$$Q - Q_1 = xV_1,$$

x représentera la valeur moyenne de la capacité apparente de charge de la pile entre les f. é. m. V et V_1. De ces relations on déduit :

$$x = C\frac{Q - Q_1}{Q_1} \qquad V_1 = V\frac{Q_1}{Q}.$$

2° *Expérience de décharge*. — Le condensateur est déchargé à travers un galvanomètre balistique : on a encore

$$Q = CV;$$

ensuite on charge la pile à la f. é. m. V et on la décharge partiellement à travers le condensateur : l'armature intérieure et le pôle de la pile en communication avec elle prennent le même potentiel V_{11} (l'autre armature et l'autre pôle sont reliés au sol), puis on mesure par le galvanomètre balistique la charge Q_{11} reçue par le condensateur.

$$Q_{11} = CV_{11},$$

[1] *Wied. Ann.*, t. LV, p 338-361 ; 1895.
[2] Bouty. *Ann. de chim. et de phys.* 6e série, t. III, p. 145 ; 1894.

la pile a perdu la charge Q_{11} et sa f. é. m. est devenue V_{11}. Donc

$$Q_{11} = x'(V - V_{11})$$

x' étant la capacité moyenne apparente de la pile, pour la charge entre les f. é. m. V et V_{11}. On a de même :

$$x' = C \frac{Q_{11}}{Q - Q_{11}} \qquad V_{11} = V \frac{Q_{11}}{Q}.$$

Marche des expériences. — Le courant d'un accumulateur Tudor de f. é. m. connue e traverse une boîte de résistance sur laquelle on a

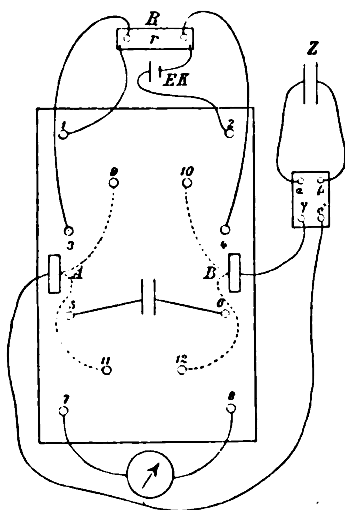


Fig. 1.

pris une résistance R : la différence de potentiel qui a été désignée par V s'obtient en prenant une dérivation sur cette boite : si r est la distance entre les deux points d'attache, $V = e \frac{r}{R}$. Un commutateur à bascule permet de charger le condensateur à l'aide de cette différence de potentiel, puis de le décharger. La figure 1 montre le schéma des liaisons. Les points autour desquels s'effectue la rotation du commutateur sont les godets de mercure 5-6; dans une de ses positions (I), le commutateur repose sur les godets 1-6, dans l'autre position (II) sur les godets 5 et 8. Aux godets 1 et 2 sont réunis deux points du courant principal qui dans la position (I) sont en communication par l'intermédiaire du pont du commutateur. Aux godets 3-4 aboutissent les fils qui vont aux extrémités de la résistance r; les armatures du condensateur sont reliées à 5-6 ; les bornes du galvanomètre à 7-8.

Les électrodes de la pile communiquent avec du mercure qui remplit des trous pratiqués dans un bloc de paraffine séparé. Pour mesurer Q_1 on relie α et β respectivement avec γ et δ : les électrodes communiquent alors avec les pièces métalliques A et B. Si on fait passer le commutateur de la position (I) à la position (II), le condensateur se charge à la différence de potentiel V : ensuite quand la bascule a quitté les points 3 et 4, les contacts glissants dont les extrémités sont reliées d'une façon permanente avec 5 et 6, établissent pendant un temps très court la communication entre 5 et A, entre 6 et B ce qui fait se décharger le condensateur dans le voltamètre. Quand le commutateur est arrivé dans la position (II), le condensateur se décharge de nouveau à travers le galvanomètre (mesure de Q_1). Au moyen des godets 9-10 et 11-12 on peut fermer la pile sur elle-même, dans les positions (I) ou (II) du commutateur. Ce commutateur est mis en mouvement par la chute d'un poids et d'après le temps de chute, la durée de l'expérience peut être évaluée à 0,1 seconde.

Expérience de décharge. — Une série de lames métalliques 1-10 (fig. 2) sont montées sur une plaque d'ébonite, sur deux rangées : elles sont munies intérieurement de contacts de platine et entre ces pièces peut glisser un curseur S en ébonite, portant deux ressorts F, F, aussi munis de contact en platine. Les lames 1-2 sont reliées aux extrémités de la résistance r; les lames 3-4 aux pôles de la pile, 5-6 aux armatures du condensateur, 7-8 aux bornes du galvanomètre : enfin 9-10 sont en relation permanente avec les pôles de la pile.

Pour mesurer Q on relie ensemble les godets α-γ d'une part, les godets β-δ de l'autre. Les lames 1 et 3, 2 et 4 communiquent alors ensemble et ces deux groupes présentent entre eux la même différence de potentiel que les

pôles de la pile. Si on déplace le curseur, les ressorts viennent appuyer sur 1-3 et sur 2-4 : le condensateur est alors chargé à la différence de potentiel V. Le curseur continuant à se mouvoir, vient relier 5-7 et 6-8; le condensateur se décharge dans le galvanomètre et en même temps la pile est mise en court circuit par les contacts 9 et 10. Pour mesurer Q_{11}, on supprime la communication entre α et γ, et entre β et δ, ce qui isole 1 de 3 et 2 de 4. Dans la position initiale, le curseur reliant 1-3 et 2-4, la pile se charge à la différence de potentiel V,

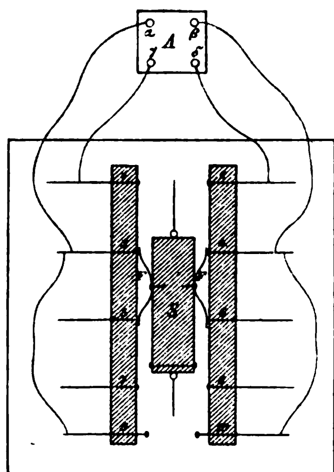


Fig. 2.

ensuite la pile se décharge dans le condensateur (3-5 et 4-6), puis le condensateur se décharge dans le galvanomètre. Le curseur était mis en mouvement par un poids et la durée de l'expérience était d'environ 0ˢ14.

Les condensateurs au nombre de deux étaient des condensateurs à mica d'Elliot, donnant de 0,05 à 0,1 microfarad. Le galvanomètre était un Thomson, construit par Elliot, il donnait une déviation de 192 divisions pour 1 mf chargé sous 0,2 volt.

M. Lietznau a calculé théoriquement quel était le temps nécessaire pour que l'armature du condensateur et le pôle de la pile se missent au même potentiel. En négligeant la self-induction, en supposant les 2 capacités égales à 1 mf et la résistance du circuit égale à 1000 hms, il a trouvé que ce temps ne devait pas dépasser $2,10^{-4}$ sec. La durée des contacts pendant l'expérience était donc plus que suffisante.

La méthode appliquée à l'étude d'un condensateur de capacité connue, donne des nombres inexacts. L'erreur varie entre 4 et 8 p. 100. Cette erreur doit être attribuée à la charge résiduelle du condensateur.

On peut tenir compte de cette circonstance dans le calcul. Soit x la capacité du condensateur qu'on veut comparer à la capacité C. Si on décharge le condensateur C sur le condensateur x, ce qui abaisse le potentiel de V à V_1, il reste dans C une charge résiduelle R, qui ensuite passera aussi dans le galvanomètre. Soit encore Q_1 la charge indiquée par le galvanomètre balistique :

$$Q = CV, \quad Q_1 - R = CV_1, \quad Q - (Q_1 - R) = xV_1,$$

d'où

$$x = C\,\frac{Q - (Q_1 - R)}{Q_1 - R}.$$

En posant

$$R = \rho C (V - V_1)$$

ρ désignant une constante, il vient :

$$R = \frac{\rho}{1-\rho}(Q - Q_1), \qquad Q_1 - R = \frac{Q_1 - \rho Q}{1 - \rho}$$

et

$$\text{(A)} \quad \left\{ \begin{aligned} x &= C\,\frac{Q - Q_1}{Q_1 - \rho Q}, \\ V_1 &= V\,\frac{Q_1 - \rho Q}{Q(1-\rho)} \\ \rho &= \frac{Q_1(1+\delta) - Q}{Q\delta} \quad \left(\delta = \frac{x}{c}\right). \end{aligned} \right.$$

En calculant ρ et portant sa valeur dans l'expression de x, les différences ne sont plus que de 2 à 8 p. 1000.

La correction provenant de cette charge résiduelle a une importance relative d'autant plus grande que $\frac{Q}{Q_1}$ et par suite la valeur approchée de ce rapport $\frac{x}{C} + 1$ est plus grande, il y a donc avantage à rendre C grand par rapport à x ce qui est difficile : car les capacités de polarisation sont très grandes vis-à-vis de celles des condensateurs.

La décharge résiduelle influe aussi sur les expériences de décharge, parce que, quand le

condensateur a été chargé par la pile à la différence de potentiel V_1, il conserve à la décharge un résidu $R = \rho CV_1$, qui est perdu pour le galvanomètre.

Par un calcul analogue au précédent, on trouve

$$Q = CV \qquad Q_{11} + R = CV_{11},$$
$$x'(V - V_{11}) = Q_{11} + R.$$

d'où

$$\text{(B)} \qquad x' = C\frac{Q_{11}}{Q - Q_{11} - Q\rho} \qquad \frac{V_{11}}{V} = \frac{Q_{11}}{Q(1-\rho)}.$$

Ce sont ces formules (A) et (B) qui ont servi au calcul des expériences. M. Lietznau a étudié en premier lieu la capacité de polarisation du platine dans l'azotate de sodium; l'une des électrodes avait la forme d'un fil, l'autre était assez large pour que sa polarisation fût négligeable. Quand la durée du courant de charge dépasse deux secondes, elle n'a plus d'influence. En faisant varier V et C, on a constaté que les expériences de charge donnent pour la capacité des valeurs plus grandes que les expériences de décharge, surtout quand la f. é. m. est élevée. C'est là une conséquence de la dépolarisation spontanée, signalée par M. Blondlot. Pour mesurer la vitesse de cette dépolarisation, on détermine Q_{11} par une expérience de décharge, en laissant se passer un temps plus ou moins long entre la suppression de la f. é. m. de charge et la décharge; cette dépolarisation n'a d'influence sensible que pour les valeurs de V supérieures à 0,4 volt.

Pour éliminer l'influence du temps sur la capacité de polarisation (Bouty, *Ann. de Ch. et Ph.* [6], III, p. 145), on effectuait les expériences quatorze heures seulement après le montage de la pile.

Comme la capacité dépend des durées de charge et de décharge, on peut définir comme capacité vraie de polarisation celle qui correspondrait à une durée infiniment petite. En admettant que la polarisation est un phénomène réversible, on conclut de ce qui précède que la capacité vraie est comprise entre la capacité apparente de charge et la capacité apparente de décharge pour la même force électromotrice.

La capacité du platine, dans une dissolution d'azotate de sodium à 0,2 éq. par litre, a été trouvée 21,5 à 25,3 mf. par cm^2. (16 mf. 8 d'après M. Bouty). Les expériences ont confirmé celles de M. Bouty relativement à la variation de cette capacité avec le temps. Dans l'acide sulfurique (1 vol. H^2SO^4 pour 6 vol. H^2O), le platine donne 13,5 mf. par cm^2. M. Bouty avait trouvé pour l'acide à 1 éq. par litre, de 27,6 à 35 mf. par cm^2.

Lorsqu'on prend comme électrode du mercure renfermé dans un tube de verre capillaire il est difficile de connaître exactement la surface du ménisque. Pour tourner cette difficulté, M. Lietznau remplace le mercure par le platine amalgamé, qui se comporte comme le mercure lui-même d'après les études faites sur l'élément Latimer Clark. Les expériences de charge et de décharge donnent dans ce cas des nombres très différents, par suite de la grande vitesse de dépolarisation. Dans l'azotate de sodium, la plus grande capacité de charge observée est seulement la moitié de la plus petite des capacités de décharge; dans l'acide sulfurique elle n'est que le tiers.

Dans le chlorure et le sulfate de magnésium, la capacité de décharge décroît notablement quand la f. é. m. croît, surtout dans le chlorure; les nombres trouvés sont un peu plus forts quand l'expérience est faite dans le vide.

Pour le chlorure de sodium et le sulfate, le vide ne paraît pas avoir d'influence.

Enfin dans l'acide sulfurique, pour les petites f. é. m. la capacité apparente de charge peut devenir de 10 à 16 fois plus grande que la capacité apparente de décharge.

M. L.

Conductibilité électrique des gaz chauds, par Pringsheim (¹).

Les gaz étaient chauffés dans un tube en porcelaine de 60 cm. de longueur et de 3 cm. 6 de diamètre intérieur, la partie moyenne était

(¹) *Wied. Ann.*, t. LV, p. 507-513.

portée à l'incandescence, sur une longueur de 22 cm. par la flamme d'un fourneau décrit antérieurement par l'auteur (1). Les extrémités de ce tube portaient des garnitures de laiton qui étaient refroidies par un courant d'eau. Les gaz étaient purifiés et introduits dans le tube par des procédés bien connus. Deux électrodes pénétraient à l'intérieur, sans toucher nulle part la paroi et étaient soigneusement isolées. Ces électrodes se terminaient par deux disques de platine (1 cm. de diamètre et 1 mm. d'épaisseur) se trouvant verticalement dans le milieu du tube, à une distance fixe de 3 cm. l'un de l'autre : ces disques étaient portés par de longs fils de platine enfermés sur toute leur étendue dans des tubes capillaires en porcelaine. Le circuit renfermait un galvanomètre de du Bois et Rubens, ayant 8 000 ohms de résistance et donnant une déviation de 1 mm. pour 2.10^{-10} d'ampère.

Les expériences ont porté sur l'air, le gaz carbonique et l'hydrogène. Pour les forces électromotrices employées (de 1,6 à 16 volts), la conductibilité apparaît au rouge naissant et croît rapidement avec la température. L'intensité du courant observé croît aussi quand la pression diminue, mais, toutes choses égales d'ailleurs, elle est plus grande pour l'hydrogène que pour l'air et plus grande pour l'air que pour le gaz carbonique. Bien que les électrodes fussent aussi symétriques que possible, la conductibilité dépendait visiblement du sens du courant. Ces résultats sont conformes aux observations anciennes de Becquerel (2).

Cette conductibilité des gaz ne suit pas du tout la loi d'Ohm. L'intensité observée peut se représenter par la formule empirique :

$$i = \frac{e + ae^2}{w},$$

i désignant l'intensité du courant, e la force électromotrice, a un facteur dépendant de la nature des électrodes, et w est un facteur qui reste constant quand la pression reste constante et qui dans les limites des expériences (de 6 cm. à 64 cm. de mercure) est sensiblement proportionnel à cette pression.

En posant

$$\iota = \frac{e}{w},$$

on a

$$w = w'(i + ae).$$

w serait donc la résistance limite qui correspondrait à une f. é. m. nulle.

En augmentant la distance des électrodes, on observait que l'intensité du courant décroissait rapidement. Lorsque la distance est un peu grande, les indications du galvanomètre deviennent irrégulières : la déviation est très grande au moment de la fermeture du circuit, puis elle diminue d'abord très vite, puis plus lentement et ne devient constante qu'après un certain temps (10 minutes). Ce phénomène tient à une véritable polarisation des électrodes, qui se traduit directement d'ailleurs par un courant de polarisation, observé quand on met les deux électrodes en court circuit. L'intensité de ce courant varie avec la durée du courant de charge. La polarisation ne disparaît que très lentement et on peut même laisser refroidir le gaz sans la supprimer; le courant de polarisation s'observe de nouveau quand on porte le gaz à l'incandescence au bout de 15 minutes. La f. é. m. maxima ne dépend que de la durée de la charge, mais elle est atteinte d'autant plus rapidement que la densité du courant est plus grande. Les mêmes phénomènes s'observent avec des électrodes en or.

Ces résultats semblent démontrer que la conductibilité des gaz est de la même nature que la conductibilité des électrolytes en solution étendue. M. L.

(1) *Wied. Ann.*, t. XLV, p. 428, 1892.

(2) E. Becquerel. *Ann. de Ch. et de Ph.*, t. XXXIX, p. 335, 1853.

Les équations de la théorie électromagnétique de la lumière déduites des faits expérimentaux de l'optique cristalline, par Ketteler (1).

La théorie de Maxwell a causé une révolution profonde non seulement dans le domaine

(1) *Wied. Ann.* t. LV, p. 525-540 (traduction *in extenso*).

de l'électricité proprement dite, mais aussi dans celui de l'optique théorique. Les différentes vues que l'on avait autrefois se sont trouvées pour la plupart équivalentes entre elles et en même temps, on a pu avoir une idée complète des particularités de chacun des systèmes particuliers anciens, maintenant qu'ils forment les parties d'un tout, en ce qui concerne tant leurs rapports mutuels que leurs rapports avec l'ensemble.

Dans ces dernières années, on a souvent, dans les livres et dans les cours, considéré l'optique à certains égards comme une dépendance de l'électricité, et avec assez de raison, car nous n'avons pas d'organe approprié à la perception des vibrations magnétiques et des vibrations électriques et les équations de Maxwell et de Hertz ont été découvertes dans l'étude de l'électricité.

Si on admet l'existence simultanée de la vibration de Neumann située dans le plan de polarisation et perpendiculaire au rayon et à la normale de l'onde, de la vibration de Fresnel, perpendiculaire sur la normale à l'onde, et de la vibration de Ketteler perpendiculaire sur le rayon, ces deux dernières étant perpendiculaires au plan de polarisation, on peut, comme je vais le faire voir dans la suite, déduire les équations de Maxwell-Hertz des faits expérimentaux de l'optique cristalline et cela d'une manière très simple. La marche indiquée ici est extraordinairement facile : les calculs compliqués de géométrie analytique deviennent presque tous inutiles et on est souvent étonné de la presqu'évidence des conséquences. Par suite de l'étroite parenté des phénomènes, on a à reproduire plusieurs lois et équations bien connues, mais du moins, elles apparaissent ici dans leur complète individualité. Peut être le présent petit travail éclairera-t-il la théorie électromagnétique de la lumière pour les physiciens qui n'ont pas encore approfondi cette dernière et par suite sera-t-il bien accueilli.

Tout d'abord, qu'il me soit permis de dire quelques mots sur les points suivants :

1. *Légitimité de la considération des vibrations normales et des ondes au rayon correspondantes.* — Dans des mémoires précédents sur l'optique cristalline, j'ai surtout considéré le rayon lumineux comme la direction du flux d'énergie, ne parlant de la normale qu'autant qu'il était nécessaire pour le passage de la lumière dans un milieu voisin. Cependant cette normale paraît jouer un rôle essentiel, puisqu'elle représente précisément la direction de propagation des ondes planes d'étendue finie. Mes efforts, pour arriver à une conception plus satisfaisante à tous points de vue, ont été couronnés de succès seulement quand j'ai trouvé dans la théorie de Maxwell l'équation complémentaire indispensable que j'avais longtemps cherchée. Par suite, il y a lieu de compléter et de rectifier quelques points de mes travaux antérienrs.

Au lieu d'un seul système de trois équations différentielles j'en emploie maintenant deux ; ce sont, en y joignant les équations de condition correspondantes :

$$(1) \quad \left\{ \begin{array}{l} \frac{\partial^2 L}{\partial t^2} = \Delta_2 X - \frac{\partial}{\partial x}\left(\frac{\partial L}{\partial x} + \frac{\partial M}{\partial y} + \frac{\partial N}{\partial z}\right), \\ \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \\ \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \\ \frac{\partial X}{\partial x} + \frac{\partial Y}{\partial y} + \frac{\partial Z}{\partial z} = 0 . \end{array} \right.$$

$$(2) \quad \left\{ \begin{array}{l} \frac{\partial^2 L}{\partial t^2} = \Delta_2 X - \frac{\partial}{\partial x}\left(\frac{\partial X}{\partial x} + \frac{\partial Y}{\partial y} + \frac{\partial Z}{\partial z}\right), \\ \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \\ \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \\ \frac{\partial L}{\partial x} + \frac{\partial M}{\partial y} + \frac{\partial N}{\partial z} = 0, \end{array} \right.$$

(en prenant la vitesse de la lumière dans le vide égale à l'unité).

Entre les composantes vectorielles (X, Y, Z) et (L, M, N) on a les relations :

$$(3) \quad \left\{ \begin{array}{lll} L = n_1^2 X & M = n_2^2 Y & N = n_3^2 Z \\ X = \frac{1}{n_1^2} L & V = \frac{n_2^2}{1} M & Z = \frac{1}{n_3^2} N , \end{array} \right.$$

n_1, n_2, n_3 étant les trois indices de réfraction principaux du cristal.

Les systèmes (2) et (3) dérivent du système de Maxwell, elles se rapportent à la propagation d'ondes planes ayant une étendue finie, dans la direction de leur normale. J'ai écrit au contraire les équations (1) sous cette restriction qu'elles se rapportent à des ondes

planes d'étendue infiniment petite, se propageant dans la direction du rayon.

On ne rencontre pas ces dernières équations dans la théorie électromagnétique, parce qu'on a l'habitude de ne considérer que des plans d'onde d'étendue finie. Si Maxwell et Hertz s'étaient proposé, dans l'intérêt d'une plus grande clarté, de développer les lois de l'absorption de la lumière dans les cristaux, en laissant de côté les quantités complexes, les équations (1) n'auraient pu leur échapper. Pour s'assurer que les équations (1) et (2) sont compatibles au moins dans le cas des milieux transparents, soit une série de lignes parallèles équidistantes, représentant les projections d'autant d'ondes, d'étendue quelconque, se propageant perpendiculairement à leur normale. Je considère le rayon correspondant à chacun des éléments de l'onde et au point d'intersection du rayon et de l'onde, l'élongation (de la force électrique d'après Maxwell, de la particule d'éther ou de matière, d'après moi), qui dans les deux cas est perpendiculaire au rayon. Je remplace la projection rectiligne de toute l'étendue de l'onde, par une ligne brisée formée d'éléments infiniment petits, d'après les mêmes règles que les règles employées en géométrie supérieure et aussi par exemple, dans la théorie mécanique de la chaleur, pour la décomposition des cycles. D'après cette décomposition, le phénomène est le même que si le mouvement ondulatoire se propageait le long du rayon par des ondes planes transversales infiniment petites, avec une vitesse de propagation égale à la vitesse suivant le rayon : ce qui justifie le système d'équation (1). Ce système devient superflu dès qu'on a recours à l'emploi des grandeurs complexes, en leur donnant leur signification exacte.

De semblables considérations m'avaient conduit autrefois, si on veut bien s'en souvenir, à des conditions aux limites qui sont maintenant reconnues exactes.

Nous pouvons donner aux équations (1) et (2) la forme commune.

$$(4) \qquad n_1^2 \frac{\partial^2 X}{\partial t^2} = \Delta^2 X + \frac{\partial V}{\partial X} = \Delta^2 (X + X') ,$$

dans laquelle V désigne une fonction potentielle qu'il faut déterminer d'après toutes les trois équations du système, X'..... des composantes longitudinales de la force qui sont aussi à déterminer et qui doivent satisfaire aux conditions :

$$(5) \qquad \frac{\partial X}{\partial x} + \frac{\partial Y}{\partial y} + \frac{\partial Z}{\partial z} = 0$$

$$(6) \qquad n_1^2 \frac{\partial X}{\partial x} + n_2^2 \frac{\partial Y}{\partial y} + n_3^2 \frac{\partial Z}{\partial z} = 0.$$

Avant de faire usage de ces équations en les appliquant aux cristaux absorbants, on peut s'en servir pour donner quelques éclaircissements sur les précédentes.

Intégrales des équations fondamentales de la théorie électromagnétique. — Nous commencerons par donner certaines équations intégrales, pour passer de là aux équations différentielles. Comme je l'ai fait remarquer déjà, je fais une seule hypothèse : c'est que la vibration de Neumann (oscillation de la force magnétique), la vibration de Fresnel (oscillation de la polarisation électrique), et la vibration de Ketteler (oscillation de la face électrique), doivent exister simultanément.

Soit K_m le vecteur magnétique. A, B, C ses composantes :

$$K_m^2 = A^2 + B^2 + C^2.$$

K_p le vecteur de la polarisation diélectrique L, M, N ses composantes :

$$K_p^2 = L^2 + M^2 + N^2$$

et enfin K_e le vecteur de la force électrique, X, Y, Z ses composantes :

$$K_e^2 = X^2 + Y^2 + Z^2.$$

La vibration de Fresnel est perpendiculaire sur celle de Neumann et sur la normale, la vibration de Neumann est aussi perpendiculaire sur la normale. Par suite, on a les trois relations :

$$(7) \qquad \begin{cases} LA + MB + NC = 0 \\ Lu + Mv + Nw = 0 \\ Au + Bv + Cw = 0, \end{cases}$$

dans lesquelles u, v, w désignent les trois cosinus directeurs de la normale. Les deux

premières opérations permettent d'exprimer L, M, N en fonction de A, B, C et de u, v, w. On aura par exemple :

$$\frac{L^2}{L^2+M^2+N^2}=\frac{(Cv-Bw)^2}{(Cv-Bw)^2+(Aw-Cu)^2+(Bu-Av)^2}.$$

On multipliera les deux termes de la fraction du second membre par un facteur indéterminé, de manière à donner le même dénominateur aux deux membres. Nous pouvons prendre ce facteur précisément égal au carré n^2 de l'indice de réfraction, en considérant notamment que L, M, N doivent se présenter immédiatement comme des dérivées partielles par rapport aux coordonnées x, y, z. D'après cela, nous poserons :

$$(8)\qquad \begin{cases} L=(Cv-Bw)n \\ M=(Aw-Cu)n \\ N=(Bu-Av)n, \end{cases}$$

d'où ; pour le carré du vecteur K_p :

$$(9)\qquad K_p^2=L^2+M^2+N^2=(A^2\times B^2+C^2)n^2.$$

En ce qui concerne le vecteur de Neumann K_m, il est perpendiculaire sur le vecteur de Ketteler et sur le rayon. Le vecteur de Ketteler est aussi perpendiculaire sur le rayon.

On a donc les trois équations :

$$(10)\qquad \begin{cases} AX+BY+CZ=0 \\ Au_e+Bv_e+Cw_e=0 \\ Xu_e+Yv_e+Zw_e=0, \end{cases}$$

où u_e, v_e, w_e désignent les cosinus directeurs du rayon.

Puisque le vecteur de Neumann est perpendiculaire sur la normale, on peut aussi écrire les deux premières équations :

$$(11)\qquad \begin{cases} AX+BY+CZ=0 \\ Au+Bv+Cw=0, \end{cases}$$

et on en déduit comme ci-dessus :

$$(12)\qquad \begin{cases} A=(Yw-Zv)n \\ B=(Zu-Xw)n \\ C=(Xv-Yu)n \end{cases}$$

soit pour le carré K_m^2 du vecteur de Neumann :

$$(13)\qquad K_m^2=A^2+B^2+C^2 =\left[(X^2+Y^2+Z^2)-(Xu+Yv+Zw)^2\right]n^2.$$

Il résulte de la comparaison des équations (10) et (11) qu'elles admettent les solutions suivantes :

Pour des ondes planes d'étendue infiniment petite, avec des vibrations longitudinales :

$$(14_a)\qquad K_e=A_e\cos 2\pi\left(\frac{t}{T}-\frac{n_e\delta_e}{\lambda}\right), \quad \delta_e=n_ex+v_ey+w_ez.$$

Pour des ondes planes d'étendue finie, avec des vibrations transversales :

$$(14_b)\qquad K_n=A_n\cos 2\pi\left(\frac{t}{T}-\frac{n_n\delta_n}{\lambda}\right), \quad \delta_n=u_nx+v_ny\times w_nz.$$

Dans ces expressions, T désigne la durée de la période, λ la longueur d'onde correspondante dans le vide. Au point d'intersection $(x'\,y'\,z')$ du rayon et du plan d'onde, on a :

$$n_n\delta_n=n_e\delta_e,$$

ou :

$$(15)\qquad n_e=n_n\cos\theta,$$

en appelant θ l'angle que fait le rayon avec la normale.

En tenant compte de cette relation et de la suivante :

$$\left(\frac{Xu_n+Yv_n+Zw_n}{\sqrt{X^2+Y^2+Z^2}}\right)^2=\sin^2\theta,$$

on voit qu'à l'équation (13) correspond l'identité :

$$\left[(X^2+Y^2+Z^2)-(Xu_n+Yv_n+Zw_n)^2\right]n_n^2 =(X^2+Y^2+Z^2)\,n_e^2.$$

Enfin les expressions (14_a) et (14_b) vérifient aussi les systèmes (8) et (9).

3. *Paramètres directeurs du rayon.* — Pour abréger, désignons par U_m, V_m, W_m les cosinus directeurs du vecteur de Neumann (force magnétique), par U_p, V_p, W_p ceux du vecteur de Fresnel (polarisation diélectrique), par U_e, V_e, W_e ceux du vecteur de Ketteler (force électrique). Pour déterminer l'angle de la normale et du rayon, nous aurons les équations suivantes :

$$(16)\quad \begin{cases} \cos\theta = U_eU_p + V_eV_p + W_eW_p \\ \cos\theta = u_nu_s + v_nv_s + w_nw_s \\ \sin\theta = U_pu_s + V_pv_s + W_pw_s \\ -\sin\theta = U_eu_n + V_ev_n + W_ew_n. \end{cases}$$

A l'aide de ce système, on déduit des équations (13) et (9) :

$$\left(Xu_n + Yv_n + Zw_n\right)^2 = \left(X^2+Y^2+Z^2\right) - \frac{1}{n_n^2}\left(A^2+B^2+C^2\right)$$

$$= \left(X^2+Y^2+Z^2\right) - \frac{1}{n_n^2}\left(L^2+M^2+N^2\right)$$

et finalement :

$$(17)\qquad \cos\theta = \frac{1}{n_n^2}\sqrt{\frac{L^2+M^2+N^2}{X^2+Y^2+Z^2}}.$$

Nous déterminerons la direction du rayon par les deux dernières équations (10) :

$$Au_s + Bv_s + Cw_s = 0$$
$$Xu_s + Yv_s + Zw_s = 0.$$

Par exemple :

$$u_s^2 = \frac{(YC - ZB)^2}{(YC-ZB)^2 + (ZA-XC)^2 + (XB-YA)^2}.$$

Le dénominateur se réduit à

$$(A^2+B^2+C^2)(X^2+Y^2+Z^2)$$

puisque le vecteur de Neumann et le vecteur de Ketteler sont perpendiculaires entre eux.

En définitive :

$$(18)\quad \begin{cases} u_s = \dfrac{YC - ZB}{\sqrt{(A^2+B^2+C^2)(X^2+Y^2+Z^2)}} \\ v_s = \dfrac{ZA - XC}{\sqrt{(A^2+B^2+C^2)(X^2+Y^2+Z^2)}} \\ w_s = \dfrac{XB - YA}{\sqrt{(A^2+B^2+C^2)(X^2+Y^2+Z^2)}} \end{cases}$$

D'après la théorie électromagnétique de la lumière, le rayon est la direction du flux de l'énergie totale qui existe objectivement : le long de ce rayon s'écoulent en même temps l'énergie électrique et l'énergie magnétique, tandis que, conformément à l'équation (9) l'énergie de la polarisation diélectrique ne représente qu'une autre forme de l'énergie magnétique.

Les équations que nous avons écrites jusqu'ici ne dépendent pas des axes de coordonnées choisis : nous supposerons maintenant que ces axes coïncident avec ceux du cristal.

L'expérience montre que les directions de la polarisation et de la force électrique sont liées l'une à l'autre, d'après une loi exprimée déjà par les équations (3), on déduit :

$$L^2 + M^2 + N^2 = n_1^2X^2 + n_2^2Y^2 + n_3^2Z^2.$$

Posons :

$$\frac{f_p}{n^2} = \frac{1}{n_1^2}U_pu + \frac{1}{n_2^2}V_pv + \frac{1}{n_3^2}W_pw$$

$$n_s^2 f_e = -\left(n_1^2U_eu_s + n_2^2V_ev_s + n_3^2W_ew_s\right)$$

Il viendra :

$$\frac{f_p}{n^2} = \frac{\frac{1}{n_1^2}Lu + \frac{1}{n_2^2}Mv + \frac{1}{n_3^2}Nw}{\sqrt{L^2+M^2+N^2}} = \frac{Xu+Yv+Zw}{\sqrt{L^2+M^2+N^2}}$$

$$= (U_eu + V_ev + W_ew)\sqrt{\frac{X^2+Y^2+W^2}{L^2+M^2+N^2}}$$

et de même :

$$n_s^2f_e = -\frac{n_1^2Xu_s + n_2^2Yv_s + n_3^2Zw_s}{\sqrt{X^2+Y^2+Z^2}} = -\frac{Lu_s + Mv_s + Nw_s}{\sqrt{X^2+Y^2+Z^2}}$$

$$= -(U_pu_s + V_pv_s + W_pw_s)\sqrt{\frac{L^2+M^2+N^2}{X^2+Y^2+Z^2}}.$$

En substituant ces valeurs dans les équations (13), (16), (17), il reste simplement :

$$(20)\qquad f_p = f_e = -\operatorname{tg}\theta.$$

(*A suivre*). M. L.

BIBLIOGRAPHIE

Manuale di magnetismo ed elettricita (*Manuel de magnétisme et d'électricité*) de Giuseppe Poloni. — U. Hoepli, éditeur, Milan, 1895.

La librairie Hoepli, de Milan, est connue par le nombre considérable de ses manuels qui, touchant toutes les parties de la science, de la littérature, de l'histoire, de l'art, etc., constituent une véritable encyclopédie moderne. Sans discuter la plus ou moins grande originalité de ces ouvrages, nous nous plaisons à reconnaître que, s'ils ont tous la même valeur

que celui aujourd'hui soumis à notre appréciation, ils sont réellement de nature à faire envie à bien des éditeurs français.

Ce n'est pas qu'ils soient de haute volée, à en juger par celui que nous avons sous les yeux; leurs aspirations sont plus modestes : ils visent le grand nombre et s'adressent aux moins instruits, je dirai presque aux enfants sortant des écoles primaires; mais qu'importe, s'ils sont bien faits et atteignent leur but en ne donnant que des idées justes et un aperçu exact des sujets qu'ils traitent. Nous n'en demanderions pas davantage à des œuvres plus importantes en apparence.

Bref, l'auteur a su réunir dans un petit volume de poche, de moins de 400 pages, très portatif, l'exposition sommaire et condensée des phénomènes magnétiques et électriques présentés sous une forme élémentaire, sans formules, avec une description suffisante des principaux appareils classiques ou pratiques pour initier ses jeunes lecteurs aux principes d'une science dont les prodigieuses applications ne peuvent manquer de solliciter la curiosité des esprits avides de connaître.

Ne pouvant plus lui faire entendre nos compliments, nous sommes heureux de les adresser à son digne continuateur, le professeur Grassi, qui, suivant la même voie, a complété cette nouvelle édition par les récentes conquêtes de la science.

E. BOISTEL.

CHRONIQUE

L'INDUSTRIE ÉLECTRIQUE EN FRANCE

Arcachon. — Traction. La partie de la ville d'Arcachon qui s'étend le long du rivage du Bassin et que l'on désigne souvent sous le nom de Ville d'Eté, se trouve séparée de la Ville d'Hiver par une dune de 30 à 40 mètres d'altitude, qui rend la circulation difficile. Une seule route accessible aux voitures sort d'Arcachon dans la direction de la Forêt et s'arrête au Mouleau, à trois kilomètres environ de la Ville d'Hiver. Pour combler cette lacune importante la Société immobilière d'Arcachon demande l'autorisation d'établir une ligne de tramways qui servirait aussi bien au transport des voyageurs qu'à faciliter l'exploitation des forêts de pins au sud d'Arcachon.

La ligne projetée aura 10 700 mètres de développement; la pente la plus forte n'y dépassera pas 2,5 p. 100 et le plus petit rayon de courbure sera de 25 mètres. La voie sera à l'écartement de un mètre. Dans toutes les parties non accessibles aux voitures, elle sera construite en rails Vignole du poids de 12 kg. par mètre courant, avec éclissage et joints en porte-à-faux.

Comme mode de traction, la préférence sera donnée au système électrique avec conducteur aérien et retour par les rails. La vitesse maxima des trains sera de 28 km. à l'heure.

Le tramway projeté sera exclusivement affecté, en été, au service des voyageurs. En hiver, un service de marchandises fonctionnera en même temps que celui des voyageurs.

Les dépenses de premier établissement sont évalués à 450 000 francs.

Bordeaux. — Traction. La ligne électrique de Bordeaux-Bouscat au Vigean sera prochainement prolongée d'une part du côté de Blanquefort, d'autre part, à l'intérieur de Bordeaux jusqu'à l'extrémité des allées d'Orléans. Il s'ajoutera ainsi d'un côté 3,3 km., de l'autre 2,4 km., de ligne. Les dépenses d'installation sont évaluées à 562 000 francs.

L'augmentation qu'on sera amené à donner au matériel fixe laissera toute latitude de créer promptement, et sans fortes dépenses, les lignes de Bordeaux-Caudéran et de Bordeaux-Mérignac.

Notons que sur la ligne du Bouscat au Vigean les dépenses d'exploitation ressortent à 0,35 fr. par train-kilomètre.

Saint-Etienne. — Accidents. Depuis quelques temps de nombreux accidents, dont plusieurs mortels, se sont produits dans la région. Le 26 août encore, à Saint-Just-sur-Loire, près de Saint-Etienne, par suite de la rupture d'un câble de transmission de force électrique servant à l'éclairage des communes limitrophes, deux personnes passant sur la route où le fil gisait le long des fossés furent blessées grièvement.

Un bœuf qu'on conduisait au marché frôla le fil et tomba foudroyé; son propriétaire ayant voulu le relever, tomba à son tour inanimé.

Les personnes blessées ont été soignées immé-

diatement. Une seule est en danger de mort.

Avec quelques soins dans la construction des lignes, il serait pourtant facile d'éviter les accidents de cette nature.

Finistère. — *Eclairage.* Conformément aux conclusions d'un rapport présenté au Conseil général du Finistère, la commission départementale a reçu délégation afin de traiter avec la maison Courtois et Cie ou tout autre ingénieur électricien pour l'installation de l'éclairage à l'Asile départemental. Le devis est de 7 000 francs.

Jonzac (*Charente-Inférieure*). — *Eclairage.* Le Conseil municipal de cette ville vient de donner la concession de l'éclairage électrique pour une durée de quinze années.

Le traité est à l'homologation préfectorale et il est fort probable que l'usine fonctionnera l'hiver prochain.

Longuyon. — *Eclairage.* Les travaux de la station d'énergie électrique de la ville de Longuyon sont poussés avec activité.

La salle des machines est presque terminée; elle se compose de deux turbines de 70 chevaux chacune, des transmissions, de 3 dynamos à courant continu de 150 ampères 115 volts en dérivation, d'un magnifique tableau de distribution sur marbre, muni de tous les appareils de vérification et de sûreté.

La puissance de cette installation, fort bien étudiée, permettra de satisfaire à tous les besoins de la localité ainsi qu'à ceux de la gare et de ses dépendances. Le courant mis sur la ligne au coucher du soleil ne sera interrompu que le lendemain, au jour, assurant ainsi l'éclairage durant toute la nuit.

Lyon. — *Traction.* Le Conseil général de Rhône a donné délégation à la commission départementale pour suivre l'affaire du tramway électrique du port à la gare de Belleville. Est également à l'étude le prolongement du tramway de l'asile de Bron jusqu'à Bron.

Melun. — *Eclairage.* Le conseil a adopté un rapport de M. Menier concluant à l'éclairage électrique de la ville.

Pornic (*Loire-Inférieure*). — *Eclairage.* L'installation électrique de cette ville dont nous avons déjà parlé (n° 14, 1894, p. 672) est terminée depuis plusieurs mois et, annonce l'*Industrie Électrique*, vient d'être inaugurée tout récemment.

L'installation permet d'éclairer 1500 lampes; actuellement 500 sont en service, 45 sur la voie publique, le reste chez les abonnés, au nombre desquels est l'église de Pornic.

Saugues (*Haute-Loire*). — *Eclairage.* Le Conseil municipal de Saugues vient de voter l'installation de l'éclairage électrique dans cette ville; elle comportera l'établissement d'une usine hydraulique sur la Seuge. Une chute d'eau de 50 m. de hauteur actionnera une turbine à axe horizontal qui sera directement accouplée à un alternateur Oerlikon de 44 kilowatts sous 3 000 volts; l'excitatrice sera calée sur l'arbre même de l'alternateur. La ville, distante de 5 kilom., de l'usine, jouira d'un éclairage public et particulier. 80 lampes seront affectées au premier et 500 lampes à l'usage privé. Cette installation faite par MM. Guitton et Bertolus, doit fonctionner depuis le 15 septembre.

Laboratoire Central d'Electricité.

12 et 14, rue de Staël.

Depuis le 16 septembre, notre collaborateur M. Janet, chargé de cours à la Faculté des Sciences de Paris, est nommé directeur du Laboratoire central d'Électricité, en remplacement de M. de Nerville. Nous adressons nos sincères félicitations au nouveau Directeur, qui, nous en sommes persuadé, continuera à développer l'œuvre si bien commencée par son prédécesseur.

Réforme des taxes téléphoniques en France. — Le ministre du commerce, des postes et des télégraphes vient de faire signer des décrets destinés à modifier les conditions de l'exploitation téléphonique en France.

Dès maintenant, ou, plus précisément, à dater du 1er janvier prochain, les modifications apportées vont élaguer des règlements en vigueur quantité de dispositions gênantes pour le public et restrictives en fait de l'emploi du téléphone au détriment non seulement des abonnés, mais des finances de l'État.

Elles vont faire également disparaître des inégalités de traitement qui pouvaient s'expliquer au début de la création des réseaux, mais que le développement acquis ne justifiait plus. Des arrêtés ministériels régleront les nombreux points de détail que les décrets ne peuvent viser.

Dès aujourd'hui nous pouvons annoncer que la taxe des conversations échangées de réseau à réseau dans un rayon de 25 km. calculés par la ligne la plus courte, aussi bien à partir du domicile des abonnés que des cabines publiques, va être réduite de 50 à 35 centimes.

Par suite, le prix de la conversation locale qui était fixé à 50 centimes à Paris et dans un grand nombre de villes des départements, va être également abaissé à 25 centimes. La durée de ces conversations sera fixée à trois minutes, les statistiques démontrant qu'à des distances faibles et pour des communications d'un prix peu élevé cette durée est la durée moyenne.

L'extension du rayon de la correspondance à tarif très réduit (0,25) va entraîner la suppression des réseaux annexes dont l'origine a donné lieu à de si nombreuses réclamations.

Dorénavant, aussi bien aux alentours de Paris que dans les départements, il n'existera plus de réseaux annexes. Tous les réseaux seront placés sur le même rang. On correspondra entre Paris et sa banlieue suivant le régime de la correspondance entre Paris et Marseille, avec cette seule différence que la nouvelle taxe, à l'unité de conversation, sera très réduite et que l'abonné réalisera une économie sur ses redevances actuelles.

Nous citerons encore les améliorations suivantes :

Dans tous les réseaux, le taux de l'abonnement aux postes supplémentaires pour le service d'un même abonné est réduit uniformément de 160 à 50 francs à Paris, de 120 à 40 francs dans les départements, quel que soit l'usage qui en sera fait. Cette disposition permettra aux grands établissements, banques, cercles, cafés, hôtels, de multiplier les postes et de faciliter l'usage du téléphone à leur clientèle.

Les postes desservant des lignes d'intérêt privé aboutissant au poste principal d'un abonné seront exonérés de l'abonnement de 160 francs qu'ils acquittent aujourd'hui. Les cercles, cafés, restaurants ne paieront plus que l'abonnement des simples particuliers.

Les abonnés des réseaux à conversations taxées pourront à un ou plusieurs s'associer pour l'usage en commun d'une même ligne principale, facilité qui leur était jusqu'à ce jour interdite.

Enfin de nouvelles facilités vont être données par arrêtés ministériels pour la conclusion des contrats et le mode de paiement.

La situation budgétaire, il est vrai, ne permet pas encore au ministre de réduire le taux principal des abonnements. C'est une réforme dont la mise en vigueur est subordonnée surtout à l'amélioration de l'outillage qui est en voie de reconstitution; elle viendra à son heure.

Nous reconnaissons bien volontiers l'activité réformatrice de M. Lebon et nous y applaudissons: mais le succès de ses efforts dépend principalement des perfectionnements que devra subir le matériel des bureaux et l'organisation du service pour être amenés à la hauteur des besoins toujours croissants de la téléphonie. Or, si nous suivons avec intérêt la reconstitution de l'outillage qu'on opère actuellement, nous demeurons sceptique quant aux résultats de cette transformation, dans laquelle les vieux errements sont suivis avec un esprit conservateur tout administratif.

Quant aux difficultés budgétaires, l'emploi qui est fait des sommes énormes qu'absorbe ce département en garantit d'avance la continuité.

L'électricité au Japon. — Nous apprenons que la Société générale d'électricité de Berlin vient de recevoir de Tokio (Japon), une commande de matériel électrique pour plusieurs centaines de mille francs, et qu'une deuxième commande de même importance est attendue incessamment.

Les nouvelles de ce genre, nous n'aurons garde de les passer sous silence, car nous croyons que la possibilité d'ouvrir des débouchés nouveaux à l'industrie électrique est un fait que nos industriels ne paraissent pas apprécier autant que les Anglais et les Allemands qui les devancent toujours.

Après avoir signalé les importantes fournitures de matériel électrique que nos bons amis les Russes demandent aux maisons allemandes, indiquons ce qu'un autre empire oriental leur réserve, si nous ne savons prendre rang en temps voulu.

Avec leur esprit d'assimilation si prompt, les Japonais ne seront pas longtemps à devenir de convaincus partisans de la traction électrique, de même qu'ils savent dès maintenant apprécier, comme ils le méritent, la lumière électrique, la télégraphie et le téléphone.

Un ingénieur récemment de retour d'un voyage dans l'Extrême-Orient insiste beaucoup sur le manque de moyens de communication au Japon

et sur l'essor qu'y prendront rapidement les tramways électriques que les industriels européens y établiront.

« Tokio, dit-il, est maintenant une ville dont la population dépasse de beaucoup un million d'habitants. Elle est seulement distante de 26 kilomètres de Yokohama. La contrée intermédiaire est formée de villages très peuplés, et l'établissement d'un tramway électrique entre ces deux points serait tout indiqué. Il n'y a actuellement ni traction électrique à Tokio, ni tramways d'aucune sorte à Yokohama.

« A Osaka, vers le centre de l'Empire, la situation est la même ; il y a, dans les communes suburbaines, une énorme population et les tramways électriques y sont inconnus. Osaka est à 20 kilomètres de la côte et pourrait être relié avec la ville de Kobe. Celle-ci, très peu importante au moment où le Japon a été ouvert au commerce étranger, s'est rapidement accrue et compte maintenant 136 000 habitants. L'établissement d'un tramway électrique entre ces deux villes serait certainement des plus rémunérateurs. Cette partie du Japon n'est aussi qu'une succession ininterrompue de villages importants et, à peu de milles à l'ouest d'Osaka, est la grande cité de Kioto, la nouvelle capitale de l'Empire japonais. Si une ligne électrique allait de Kobe à Osaka, puis à Kioto, elle mettrait en relation une population de plus de 2 millions d'habitants. »

Il faut noter d'ailleurs que les Japonais sont de grands voyageurs. En particulier, il font continuellement de longues excursions dans le pays, dans le but de visiter les temples bouddhistes les plus célèbres, et on rencontre sur les routes des centaines de familles se rendant de l'un à l'autre de ces lieux sacrés. Il n'est pas douteux que les moyens de traction rapides et commodes et avant tout les procédés de traction électrique, seraient assurés du plus grand succès.

Reportage en ballon captif. — Les moyens d'information des journaux s'accroissent et se perfectionnent tous les jours. Le « fil spécial » est devenu chose tout à fait commune. Voici que s'ouvre l'ère du « ballon spécial ». C'est naturellement d'Amérique que nous vient cette innovation. A l'occasion de la grande course de yachts qui vient d'avoir lieu de l'autre côté de l'Océan un journal des États-Unis, le *New-York World*, fit équiper à ses frais un ballon captif. Dans la nacelle du ballon était un rédacteur, accompagné d'un télégraphe Morse, qu'un fil véritablement spécial reliait aux bureaux du journal.

Le ballon, installé sur le rivage, s'éleva à mille pieds dans les airs, et, de sa haute position, l'aéronaute-reporter, armé d'une forte lunette, put télégraphier au *New-York World*, seconde par seconde, toutes les péripéties de la course, tandis que ses confrères terrestres, qui, d'ailleurs, n'apercevaient qu'une partie très limitée du spectacle, ne purent renseigner leurs journaux respectifs que plusieurs heures après. Bientôt, sans doute, ajoute *Le Génie*, tout journal qui se respecte possédera dans son matériel un ou plusieurs ballons.

L'incandescence par les combustibles liquides. — Comme il fallait s'y attendre, on a cherché à appliquer le principe du bec Auer aux lampes brûlant des combustibles liquides. Il existe déjà un certain nombre de systèmes dans lesquels de l'alcool, de l'essence ou des hydrocarbures faciles à vaporiser sont amenés d'abord à l'état gazeux puis envoyés dans un bec Bunsen muni du capuchon réfractaire. Accueillis avec quelque enthousiasme, surtout en Allemagne, ces systèmes ne paraissent pas, jusqu'à présent, s'être beaucoup répandus.

Télégraphie navale. — D'après la *Revue de l'Électricité*, c'est la Société générale de Berlin qui a mis à même l'ingénieur Rathenau d'essayer, sur le Wannsee, le système suivant de télégraphie sans fil :

Deux grandes plaques métalliques étaient plongées dans l'eau à 200 mètres de distance et se faisaient face l'une à l'autre. Les deux pôles d'une batterie d'accumulateurs étaient reliés aux plaques. Un interrupteur spécial permettait de faire passer entre les plaques un courant interrompu 200 fois par minute.

Deux autres plaques écartées de 50 mètres étaient placées vis-à-vis l'une de l'autre et à une distance de plusieurs kilomètres des premières. En reliant ces deux plaques par un téléphone on percevait aisément le courant envoyé dans l'eau par le premier groupe de plaques.

C'est ainsi que l'on télégraphia d'un poste central établi sur le Wannsee à New-Chadow, poste récepteur situé en face, sur la rive du Havel, soit à une distance de 5 kilomètres.

L'un des canots électriques de la Société générale d'électricité, fut muni d'un commutateur télégraphique, pour le mettre en relation avec le poste central; le canot croisa, stationnant en divers endroits du lac et se tenant toujours à une distance d'environ 5 kilomètres du poste central. Les essais ainsi faits permettent de conclure à la possibilité d'établir en un temps prochain, un service régulier de communication pour les navires entre eux sur mer et avec la terre ferme; ce procédé présenterait plus de certitude que le service de communication par signaux actuellement en usage.

Les Sociétés d'électricité à Paris. — Un article de l'*Industrie Électrique* nous fournit les renseignements suivants sur le fonctionnement des Sociétés d'électricité à Paris en 1893.

La Compagnie Edison avait 1 208 abonnés avec 784 lampes à arc et 43 978 lampes à incandescence. L'énergie électrique totale distribuée dans l'année a atteint 1 586 371 kilowatts-heures, donnant une recette de 1 897 293 francs.

La Compagnie parisienne de l'air comprimé comptait 930 abonnés pour 1 566 lampes à arc et 34758 lampes à incandescence; elle a fourni 1 144082 kilowatts-heures et a reçu 388027 francs.

La Société d'éclairage et de force avait 1 061 abonnés avec 2 391 lampes à arc et 46 996 lampes à incandescence; l'énergie électrique totale a été de 1 253 482 kilowatts-heures et la recette de 1 298 632 francs.

Le secteur de la place Clichy avait 1 025 abonnés avec 721 lampes à arc et 48 020 lampes à incandescence. Il a produit 740 826 kilowatts-heures et a eu une recette totale de 939 572 francs.

Le secteur des Champs-Élysées comptait 260 abonnés avec 91 lampes à arc et 27 925 lampes à incandescence; l'énergie totale produite a été de 133 503 kilowatts-heures et la recette s'est élevée à 169 867 francs.

Le système hydro-électrique. — Le système de distribution hydro-électrique de van Rysselberghe a, comme on sait, fait fiasco. L'installation établie à Anvers avec plus de deux millions de frais, n'a été satisfaisante, ni techniquement, ni financièrement. Quoique l'expérience ait été coûteuse, elle a eu tout au moins l'avantage de montrer l'impraticabilité du système hydraulique, que l'on pourra désormais placer sur le même rang que le système à air comprimé. La distribution par l'électricité pure et simple, n'a pas à craindre la concurrence de ces systèmes hybrides.

Station centrale à moteurs à gaz à Chicago. — Il vient d'être établi à Chicago une station centrale, de 400 chevaux fournis par des moteurs à gaz couplés directement sur les dynamos. La plus grosse unité est une machine tandem de 200 chevaux.

Cible électrique. — On a essayé dernièrement près de Gratz, en Autriche, une cible électrique qui présente l'avantage de rendre inutile la présence d'un homme pour indiquer les coups. En effet, quelle que soit la distance à laquelle on tire, la cible, dès qu'elle est frappée par le projectile, donne un signal qui est enregistré par l'indicateur placé à proximité du stand. A cet effet, on a posé, entre le stand et la cible, un câble qui est mis en communication avec la cible. Celle-ci est établie dans la forme habituelle et en mailles de fil de fer assez rapprochées ; de plus, elle est enduite d'une couleur voyante. Dès que la figure ou les mailles de fil de fer qui représentent la partie supérieure du corps d'un homme sont frappés par une balle, le circuit se ferme et la sonnerie placée près du stand se fait entendre; ce coup de sonnerie est accompagné d'un signal visible sur l'indicateur. L'appareil, qui est relié avec la cible, se trouve placé au-dessous du sol et n'exige aucun soin pour l'entretien. D'après la *Zeitschrift für Elektrotechnik*, les essais avec cette cible ont donné des résultats très satisfaisants.

Adresses télégraphiques. — Notre confrère l'*Elektrot. Zeitschrift* signale une réforme adoptée par l'Administration télégraphique suédoise. Dorénavant, les abonnés au téléphone, et ils sont nombreux en Suède, pourront employer leur numéro téléphonique comme adresse télégraphique. Les dépêches portant ces adresses seront transmises téléphoniquement, autant que possible. On atteindra ainsi une notable accélération des communications télégraphiques même interurbaines, puisqu'en Suède chaque abonné peut correspondre sans frais supplémentaires avec les villes situées dans un rayon de plus de 50 km.

L'Éditeur-Gérant : GEORGES CARRÉ.

Paris. — Imprimerie L. MARETHEUX, 1, rue Cassette.

Tome IV. Samedi 21 Septembre 1895. 2e Année. — N° 38

L'Éclairage Électrique

REVUE HEBDOMADAIRE D'ÉLECTRICITÉ

DIRECTEUR SCIENTIFIQUE : J. BLONDIN

SECRÉTAIRE DE LA RÉDACTION : G. PELLISSIER

LA THÉORIE ÉLECTROMAGNÉTIQUE DE LA LUMIÈRE ET L'ABSORPTION CRISTALLINE [1]

V

M. Ch. Camichel a repris l'étude de l'absorption cristalline par une méthode spectrophotométrique très sensible, que nous ne pouvons décrire ici en détail. Notons seulement que sa méthode permet l'étude de lames cristallines extrêmement petites, ce qui est très important à cause de la difficulté d'avoir des cristaux bien purs de quelque étendue. Ses expériences ont porté, notamment, sur la tourmaline (brune ou verte), sur le ferricyanure de potassium et sur l'épidote.

Citons quelques nombres :

Tourmaline verte très-pure inclinée de 45° sur l'axe optique. Lumière tombant normalement. — On a taillé diverses épaisseurs de la lame ; on a réduit successivement l'épaisseur d'une première lame, et l'on a mesuré chaque fois le rapport de l'intensité à la sortie I à l'intensité initiale I_0.

	Épaisseurs. mm	$\frac{1}{2}\log\frac{I}{I_0}$
1.	0,525	—0,202
2.	0,634	—0,255
3.	0,700	—0,275
4.	0,850	—0,339
5.	0,926	—0,371

Si la loi exponentielle est vraie, la courbe ayant pour abscisses les épaisseurs et pour ordonnées les valeurs de $\frac{1}{2}\log\frac{I}{I_0}$ doit être une droite. L'écart maximum entre le point réel de l'épure, et la droite passant par les autres a lieu pour le point (2) : cet écart atteint environ $\frac{1}{50}$ de la valeur de l'ordonnée du point.

M. Camichel donne, dans le chapitre consacré à la loi des épaisseurs, une autre série d'expériences fondées sur un principe différent. Il prend une lame qui restera d'épaisseur invariable ; si on la fait traverser par des rayons de plus en plus obliques, ce qu'on peut faire en la tenant par une pince mobile autour d'un axe vertical, l'épaisseur traversée varie en raison inverse du cosinus de l'incidence. La lame, qui est une lame de tourmaline, est tenue par une pince, dans une cuve pleine de sulfure de carbone, Si ω est l'incidence, l'épaisseur traversée est $\frac{z}{\cos\omega}$ et le rapport $\frac{I}{I_0}$ devient :

$$\frac{I}{I_0} = e^{\frac{z}{\cos\omega} \cdot m}$$

m étant le coefficient d'absorption relatif à l'onde considérée. L'axe vertical de rotation est l'axe optique de la tourmaline ; si l'on polarise l'onde incidente de façon que la vibration transmise soit toujours parallèle à l'axe optique, — il suffirait de polariser dans un plan horizontale la lumière incidente, — on aura dans

[1] Voir l'*Éclairage électrique* du 3 août, p. 193 et du 24 août, p. 352.

les divers cas des ondes plus ou moins obliques, mais transmettant toutes une vibration lumineuse parallèle à l'axe optique, nous verrons qu'en vertu d'une seconde loi, due à M. Becquerel, le coefficient d'absorption est constant dans ces conditions; m est indépendant de ω. Si on admet ce résultat, on pourra se servir de la méthode précédente pour établir la loi des épaisseurs, en faisant varier simplement l'épaisseur active $\frac{z}{\cos \omega}$ par la variation de ω, ce qui est plus aisé que de modifier z. Avec la tourmaline, l'expérience est particulièrement simple, car pour une épaisseur notable, la vibration perpendiculaire à l'axe est complètement absorbée; il ne reste donc que la vibration parallèle à l'axe, sans qu'il soit besoin de placer un polariseur sur le trajet de la lumière incidente.

Avant de discuter cette méthode, citons les nombres de M. Camichel :

Tourmaline très brune, très absorbante, plongée dans le sulfure de carbone. Epaisseur : $0^{mm},463$, lumière jaune du sodium.

	Epaisseur.	$\frac{1}{2} \log \frac{I}{I_0}$
Lame normale au faisceau.	0,463	—0,26680
Lame inclinée de 30°. . .	0,5346	—0,30847

Le quotient des épaisseurs est de 1,154. Celui des valeurs de $\frac{1}{2} \log \frac{I}{I_0}$ est 1,156.

L'expérience est intéressante, mais, à mon sens, elle ne suffirait pas pour établir la loi des épaisseurs. Cette première loi doit être établie d'abord, et indépendamment de la seconde; avant toutes choses, il faut montrer qu'une même onde donnée est absorbée en fonction exponentielle de l'épaisseur, et pour cela, il n'y a qu'un moyen, celui qui a été appliqué précédemment, tailler dans une même lame des lames d'épaisseurs variables, et y faire tomber une onde toujours orientée de la même façon par rapport au cristal. A cet égard, et pour démontrer cette loi capitale, peut-être ne serait-il pas mauvais de répéter sur d'autres cristaux l'expérience de M. Camichel sur la tourmaline verte. Cette expérience est la seule qui soit directement démonstrative pour la loi des épaisseurs.

Si cette loi exponentielle des épaisseurs est considérée comme bien démontrée, cette seconde expérience sur la tourmaline brune qu'on incline progressivement, nous fournira, au contraire, une démonstration rigoureuse et nette de la *seconde loi*, de celle à laquelle il faut réserver le nom de M. Becquerel, car c'est à celle-là que M. Becquerel attachait le plus d'importance, et toutes les expériences faites depuis son mémoire l'ont justifiée.

Cette seconde loi, que nous appelons *loi de Becquerel*, a été formulée ainsi :

« *L'absorption correspondant à une vibration lumineuse de longueur d'onde déterminée, orientée parallèlement à l'un des axes d'élasticité optique correspondant à cette longueur d'onde, est la même, à égalité d'épaisseur de la matière traversée, quelle que soit la direction suivant laquelle se propage cette vibration. L'absorption ne dépend donc que de la direction de la vibration lumineuse à l'intérieur du cristal* (1). »

M. Becquerel remarque qu'en général, à une vibration dirigée suivant une droite donnée, correspond une onde unique : une vibration donnée ne peut être propagée sans altération que par une certaine onde. Il y a exception lorsque la vibration est dirigée suivant un des axes d'élasticité optique, auquel cas une infinité de plans d'onde passant par cet axe sont susceptibles de la propager.

Ce résultat, entre parenthèses, est immédiat dans la théorie électromagnétique. A un déplacement donné, correspond une force électrique donnée, dont les composantes sont fonctions linéaires des composantes du déplacement. Ces droites déterminent un plan; et le plan perpendiculaire à celui-là et contenant le déplacement, n'est autre que le plan d'onde. Ce plan n'est indéterminé que dans le cas où

(1) *Ann. de Ch. et Pysh.*, VIe série, t. 14, p. 201.

la force électrique et le déplacement coïncident en direction.

La seconde expérience de M. Camichel, sur la tourmaline brune, et celles qu'il a faites ensuite sur l'épidote, cristal clinorhombique, doivent être regardées comme démontrant cette seconde loi. L'expérience citée (p. 529) montre la constance du coefficient d'absorption m, quelle que que soit l'inclinaison ω, si l'on admet comme établie la proportionnalité de $\log \frac{I}{I_0}$ à l'épaisseur traversée.

Reprenons la tourmaline brune, d'épaisseur 0,563 mm., et disposons cette fois l'axe vertical de rotation normal à l'axe optique. Cette fois, si l'on incline la lame, le coefficient m ne sera plus indépendant de ω ; car dans l'onde intérieure au cristal, la vibration lumineuse transmise n'est pas toujours également inclinée sur l'axe optique.

J'appelle m_0 le coefficient d'absorption pour un rayon normal à la lame, m_{10} pour un rayon incliné de 10°, etc. — Avec la même tourmaline brune que précédemment, on a trouvé :

$$m_0 = 2{,}636,$$
$$m_{10} = 3{,}508.$$

Il s'agit de voir si la formule déduite du calcul de M. Mallard donne pour les autres incidences, des valeurs du coefficient d'absorption d'accord avec les valeurs trouvées directement par expérience :

Cette formule sera

$$m_\omega = m_0 \cos^2 \omega + m_{90} \sin^2 \omega.$$

On calculera d'abord m^0_0 en y faisant $\omega = 10°$, et remplaçant m_ω par m_{10}.

Ce calcul donne

$$m_{90} = 1{,}4993.$$

Si on expérimente sous une incidence de 20°, on obtient une valeur de m_{20}. En portant cette valeur dans la formule

$$m_{20} = m_0 \cos^2 20° + m_{90} \sin^2 20°,$$

on obtient une seconde valeur de m_{90}. M. Camichel trouve :

$$m_{90} = 1{,}4875.$$

L'accord avec la valeur déduite de l'observation faite sous l'incidence de 10°, est, on le voit, très satisfaisant.

Au contraire, si l'on partait du mode de raisonnement qu'adoptaient primitivement M. H. Becquerel et M. Carvallo, on arriverait à une formule de la forme :

$$\left(\frac{a}{a_0}\right)_\omega = \cos^2 \omega \, e^{-zk_0} + \sin^2 \omega \, e^{-zk_{90}}.$$

Il est aisé de voir qu'une pareille formule est absolument en désaccord avec les résultats numériques de M. Camichel.

L'étude de l'épidote, cristal biaxe, conduit exactement aux mêmes conclusions. Nous les résumons ainsi en ces deux lois :

Première loi. — Quelle que soit l'orientation cristallographique de la lame absorbante, et l'inclinaison de l'onde incidente, l'absorption se fait simplement suivant une fonction exponentielle de l'épaisseur traversée.

Deuxième loi. Loi de Becquerel. — Quand une même vibration peut être propagée par une infinité d'ondes différentes l'absorption est la même pour toutes ces ondes : le coefficient d'absorption ne dépend que de la direction de la vibration lumineuse transmise.

VI

La première des deux lois fondamentales se déduit aisément, comme nous l'avons vu, des équations générales des perturbations électromagnétiques dans un milieu imparfaitement isolant. La seconde loi, la loi de M. Becquerel, peut s'en déduire également.

Reprenons les équations (7) et (8) en y rétablissant, pour la généralité, les termes en ε_{12}, ε_{23}, ε_{31}, et cherchons à déterminer le coefficient h. Faisons en outre $\alpha = 0$, ce qui revient à considérer une onde se propageant parallèlement au plan xy. Nous n'enlevons rien, par là, à la généralité puisque les axes sont quelconques par rapport aux axes d'élasticité optique du cristal ; X_0, Y_0, Z_0, satisferont aux trois équations (9), dans le cas d'un milieu non absorbant :

$$(9)\quad \begin{cases} h^2 X_0 = - A^2\mu\beta^2 \left(\varepsilon_{11} X_0 + \varepsilon_{12} Y_0 + \varepsilon_{13} Z_0\right), \\ h^2 Y_0 = - A^2\mu\beta^2 \left(\varepsilon_{12} X_0 + \varepsilon_{22} Y_0 + \varepsilon_{23} Z_0\right), \\ o = - A^2\mu\beta^2 \left(\varepsilon_{13} X_0 + \varepsilon_{23} Y_0 + \varepsilon_{33} Z_0\right). \end{cases}$$

Par une substitution linéaire portant sur les composantes X_0 et Y_0 nous pouvons faire disparaître le terme en ε_{12} : en d'autres termes, nous pouvons faire dans le plan des *xy* un changement d' axes coordonnés, en prenant pour axes les axes de la section de l'ellipsoïde d'élasticité par le plan des *xy*. Supposons ce changement effectué, les valeurs de ε_{11}, et ε_{22}, ε_{13} et ε_{23}, seront changées ; mais les équations (9) auront la même forme, il y faudra supposer seulement $\varepsilon_{12} = o$.

$$(10)\quad \begin{cases} h^2 X_0 = - A^2\mu\beta^2 \left(\varepsilon_{11} X_0 + \varepsilon_{13} Z_0\right), \\ h^2 Y_0 = - A^2\mu\beta^2 \left(\varepsilon_{22} Y_0 + \varepsilon_{23} Z_0\right), \\ o = - A^2\mu\beta^2 \left(\varepsilon_{13} X_0 + \varepsilon_{23} Y_0 + \varepsilon_{33} Z_0\right). \end{cases}$$

Prenons maintenant comme variables indépendantes les composantes ξ_0, η_0, ζ_0, du déplacement, au lieu des composantes de la force électrique, on aura à résoudre trois équations linéaires :

$$(11)\quad \begin{cases} \xi_0 = \varepsilon_{12} X_0 + \varepsilon_{12} Y_0 + \varepsilon_{13} Z_0. \\ \eta_0 = \varepsilon_{12} X_0 + \varepsilon_{22} Y_0 + \varepsilon_{23} Z_0, \\ \zeta_0 = \varepsilon_{13} X_0 + \varepsilon_{23} Y_0 + \varepsilon_{33} Z_0. \end{cases}$$

ce qui donnera un système d'équations :

$$(12)\quad \begin{cases} X_0 = e_{11} \xi_0 + e_{12}\eta_0 + e_{13}\zeta_0, \\ Y_0 = e_{12} \xi_0 + e_{22} \eta_0 + e_{23} \zeta_0, \\ Z_0 = e_{13} \xi_0 + e_{23} \eta_0 + e_{33} \zeta_0. \end{cases}$$

Les équations (10) donneraient alors, *en supposant cette fois que les axes* ox *et* oy *ont été choisis dans le plan des* xy *de façon à faire disparaître* e_{12} *au lieu de* ε_{12}, ce qui revient à prendre pour axes les axes de la section par le plan *xy* de l'ellipsoïde inverse, au lieu des axes de la section de l'éllipsoïde direct, les équations (10) donneraient le système suivant :

$$(13)\quad \begin{cases} h^2 \left(e_{11}\xi_0 + e_{12} \zeta_0\right) = - A^2\mu\beta^2\xi_0, \\ h^2 \left(e_{22}\eta\zeta + e_{23}\zeta_0\right) = - A^2\mu\beta^2\eta_0, \\ o = \zeta_0. \end{cases}$$

ce qui donne en simplifiant

$$(14)\quad \begin{cases} h^2 e_{11}\xi_0 = - A^2\mu\beta^2\xi_0, \\ h^2 e_{22}\eta_0 = - A^2\mu\beta^2\eta_0. \\ \zeta_0 = o. \end{cases}$$

La troisième équation du système exprime que le déplacement est dans le plan de l'onde. Ce système (14) montre sous une forme particulièrement claire, ce qu'est la biréfringence dans un cristal ordinaire. On a évidemment deux solutions, deux déplacements possibles susceptibles d'être transmis par l'onde parallèle à *xy*, l'un dirigé suivant O*x*, pour lequel η_0 est nul, et dont la vitesse de propagation est

$$\frac{1}{A}\sqrt{\frac{e_{11}}{\mu}},$$

l'autre dirigé suivant O*y*, pour lequel ξ_0 est nul et dont la vitesse de propagation est

$$\frac{1}{A}\sqrt{\frac{e_{22}}{\mu}}.$$

Que faudra-t-il pour qu'à une même vibration puisse correspondre une infinité d'ondes ?

Il faut et il suffit que la force et le déplacement électriques sont confondus et dirigés suivant un axe d'élasticité optique. Supposons-les dirigés suivant O*x*. Dans les équations rapportées à des axes dont fait partie O*x*, manqueront les termes en ε_{12}, ε_{13} ou e_{12} et e_{13}.

Les équations (12) deviennent :

$$(15)\quad \begin{cases} X_0 = e_{11} \xi_0 \\ Y_0 = e_{22} \eta_0 + e_{23} \zeta_0, \\ Z_0 = e_{23} \eta_0 + e_{33} \zeta_0. \end{cases}$$

Nous n'avons pas à modifier les équations (14) qui donneront encore les deux solutions du problème, les deux vibrations possibles pour une onde parallèle à *xy*. Seulement il est à remarquer que si l'on change les axes O*y* et O*z* dans le plan des *zy*, la valeur de e_{22} qui figure dans la seconde des équations (14) sera modifiée ; et au contraire la valeur de e_{11} en sera indépendante. L'une des vibrations, celle qui est dirigée suivant O*x*, aura donc une vitesse de propagation indépendante de la direction de l'onde qui la transmet. Pour toutes ces ondes, à une radiation donnée cor-

respond une même longueur d'onde dans le cristal.

VII

Il fallait rappeler ces résultats relatifs à la biréfringence dans les cristaux parfaitement transparents, avant de voir quelles modifications y apporte l'absorption.

Les résultats obtenus sont très simples quand on suppose que l'*absorption n'est pas trop considérable.* Nous devrons ensuite préciser ce que nous entendons par là; et nous montrerons que même dans la tourmaline, l'absorption du rayon ordinaire, qui est pourtant énorme, est encore assez faible pour que nos approximations soient légitimes.

Nous allons supposer l'absorption assez faible pour que le carré du coefficient k puisse être négligé.

Nous avons posé, on s'en souvient :

$$h = -k + il,$$

d'où :

$$h^2 = k^2 - l^2 - 2ikl,$$

Nous écrirons simplement :

$$k^2 = - l^2 - 2ikl.$$

Complétons les équations (10) ou (13) en supposant le cristal conducteur : il faut rétablir les termes en λ. La troisième équation devient, en substituant à X_0, Y_0, Z_0, leurs expressions (12) :

$$(16)\quad \begin{aligned} o = - A^2\mu\beta^2\zeta_0 + 4\pi A^2\mu i\beta\Big[& \left(\lambda_{13}c_{11} + \lambda_{23}c_{12} + \lambda_{33}c_{13}\right)\xi_0 \\ & + \left(\lambda_{13}c_{12} + \lambda_{23}c_{22} + \lambda_{33}c_{23}\right)\eta_0 \\ & + \left(\lambda_{13}c_{13} + \lambda_{23}c_{23} + \lambda_{33}c_{33}\right)\zeta_0 \Big] \end{aligned}$$

Voyons ce que devient la première solution, celle qui correspondait à une vibration rectiligne dirigée suivant Ox. Quand il n'y avait pas d'absorption, on avait :

$$\eta_0 = \zeta_0 = o, \qquad h^2 = - \frac{A^2\mu\beta^2}{c_{11}}.$$

Si l'absorption reste assez faible, c'est que les coefficients de conductibilité λ ne sont pas trop grands. S'il en est ainsi, ξ_0 restera évidemment grand par rapport à η_0 et ζ_0 : et devant le carré de ξ_0 on pourra négliger soit le carré de η_0, soit celui de ζ_0, soit le double produit $\eta_0\ \zeta_0$. Et avec la même approximation, on négligera les termes contenant au carré l'un des coefficients λ ou le produit de deux d'entre eux, ou encore, ce qui revient au même, les termes contenant le produit d'un coefficient λ par η_0 ou ζ_0.

L'équation (16) nous montre alors que, ξ_0 étant réel, on a pour ζ_0 *une valeur imaginaire, et de l'ordre de grandeur des coefficients* λ.

L'équation qu'on obtient en complétant la seconde équation (13) qui est dans le cas actuel,

$$\eta_0 = o.$$

donnera de même pour μ_0 une valeur imaginaire, et de l'ordre des coefficients λ.

En transportant ces valeurs dans la première des trois équations (13) il vient :

$$(17)\quad \begin{aligned} h^2 c_{11}\xi_0 = - A^2\mu\beta^2\xi_0 + 4\pi A^2\mu i\beta\Big[& \left(\lambda_{11}c_{11} + \lambda_{12}c_{12} + \lambda_{13}c_{13}\right)\xi_0 \\ & + \left(\lambda_{11}c_{12} + \lambda_{12}c_{22} + \lambda_{13}c_{23}\right)\eta_0 \\ & + \left(\lambda_{11}c_{13} + \lambda_{12}c_{23} + \lambda_{13}c_{33}\right)\zeta_0 \Big] \end{aligned}$$

et en remplaçant h^2 par $- l^2 - 2ikl$, il vient en supprimant les quantités petites du second ordre :

$$\left(- l^2 - 2ikl\right) c_{11}\xi_0 = - A^2\mu\beta^2\xi_0 + 4\pi A^2\mu i\beta \left(\lambda_{11}c_{11} + \lambda_{12}c_{12} + \lambda_{13}c_{13}\right) \xi_0.$$

et cette équation se décompose en les deux suivantes :

$$(18)\quad \begin{aligned} l^2 &= \frac{A^2\mu\beta^2}{c_{11}}, \\ - 2kl &= 4\pi A^2\mu\beta^2 \left(\lambda_{11}c_{11} + \lambda_{12}c_{12} + \lambda_{13}c_{13}\right). \end{aligned}$$

D'une part, l d'où dépend la longueur d'onde, est indépendant des coefficients de conductibilité ; d'autre part, le coefficient d'absorption k est de l'ordre de grandeur des coefficients λ. Le premier de ces deux résultats n'est rigoureux qu'à la condition de négliger k^2.

Il n'est que la traduction de ce fait, bien connu en acoustique, que la hauteur d'un son qui s'éteint n'est pas modifiée, pourvu que l'amortissement ne soit pas trop grand.

La vibration qui se propage n'est donc pas une vibration rigoureusement rectiligne : au terme principal réel en ξ_0 s'ajoutent des termes purement imaginaires, petits, en η_0 et ζ_0 ; c'est dire qu'à la vibration dirigée suivant Ox s'adjoint une autre vibration, de faible amplitude, dirigée perpendiculairement à Ox et présentant par rapport à elle une différence de phase d'un quart de période. Donc la vibration qu'on a en réalité est elliptique ; elle est, il est vrai, très aplatie ; et son grand axe est dirigé suivant Ox. On peut dire qu'elle est rectiligne, approximativement, si on remarque que l'intensité de la lumière relative à la vibration perpendiculaire à Ox est négligeable par rapport à l'intensité de la lumière qui vibre suivant Ox.

Rien n'empêcherait de considérer le résultat précédent comme une première approximation ; en apportant dans l'équation (14) les valeurs imaginaires de η_0 et ζ_0 on trouverait qu'il faut ajouter à ξ_0 une partie imaginaire du second ordre ; et par suite à η_0 et ξ_0 une partie réelle du troisième, et ainsi de suite. La première approximation sera, en général, amplement suffisante, comme nous le prouverons par des exemples numériques.

Complétons maintenant par les termes en λ, les équations relatives au cas où une même vibration peut appartenir à une infinité d'ondes : nous allons établir ainsi *la loi de M. Becquerel.*

On a simplement ici pour le terme complémentaire de la première équation du système :

$$+ 4\pi A^2 \mu i \beta \Big[\lambda_{11} e_{11} \xi_0 + \lambda_{12} \left(c_{22}\eta_0 + c_{23}\zeta_0\right) + \lambda_{13} \left(c_{23}\eta_0 + c_{33}\zeta_0\right)\Big]$$

et l'équation (17), réduite aux termes principaux et aux termes petits du premier ordre devient :

$$h^2 c_{11} \xi_0 = - A^2 \mu \beta^2 \xi_0 + 4\pi A^2 \mu i \beta \lambda_{11} e_{11} \xi_0,$$

et les équations (18) deviennent :

$$(19) \quad \begin{cases} l^2 = \dfrac{A^2 \mu \beta^2}{e_{11}}, \\ -2kl = 4\pi A^2 \mu \beta^2 \lambda_{11} \end{cases}$$

Le résultat essentiel est que *kl ne dépend que de* λ_{11} *qui est lui-même indépendant du choix des axes Oy et Oz dans le plan des zy.* Ici disparaissent les termes en λ_{12} et λ_{13} qui figuraient dans la seconde équation (17). Par conséquent, *le coefficient d'absorption est indépendant de la direction de l'onde qui transmet la vibration* (¹).

(*A suivre.*)

B. BRUNHES.
Professeur à la Faculté des sciences de Dijon.

LES LAMPES A ARC

La régularisation de la lampe différencielle *Heyman* est, (fig. 1 à 7) à la fois très simple et très précise.

Au repos, les charbons sont au contact. Quand on lance, par la manette d_{21}, le courant dans l'électro en série b_{10}, il attire son armature b_{14}, dont la tige b_{15} soulève, par son ressort b_{21} l'armature b_{17} des électros en dérivation b_{12} b_{13} et son châssis B, pivoté autour de b_{27}. Ce mouvement a pour premier effet de rompre en c_5 c_8 le circuit de sûreté, puis il cale, en l'appliquant sur son frein c_{11}, à ressort, c_{15}, la roue c_{12}, solidaire du pignon b_6, qui, alors soulève par sa chaîne b_4, et malgré le ressort, c_{13}, le porte-charbon b'. Quand l'arc s'allonge, l'attraction des électro dérivés augmente,

(¹) La seconde équation (19) apprend que kl est indépendant de la direction de l'onde : si l n'était pas constant, on en conclurait que l'*absorption est la même après la traversée d'un même nombre de longueurs d'onde*, l représentant, comme il est aisé de s'en assurer, l'inverse de la longueur d'onde relative à l'onde considérée dans le cristal. C'est sous cette forme que j'avais énoncé le résultat dans une note aux Comptes Rendus (17 mai 1895). Comme en réalité, l est indépendant, lui aussi, de la direction de l'onde, ainsi que cela résulte de la première équation (19), il y a lieu de dire simplement que l'absorption est la même après la traversée d'une même épaisseur de cristal.

abaisse b_{17}, malgré le ressort b_{21}, le long de la tige b^{13} de l'armature b_{14}, maintenue fixe par l'attraction persistante de b_{10}. Ce mouvement desserre le frein, qui laisse descendre le charbon supérieur de la quantité nécessaire au rétablissement de l'arc normal.

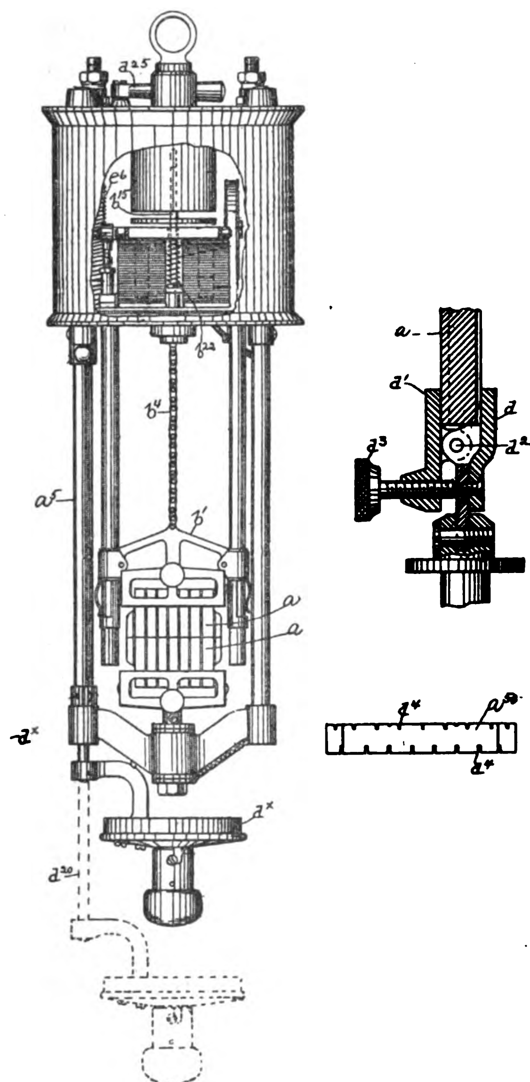


Fig. 1, 2 et 3. — Lampe différencielle Heyman (1894). Ensemble, détail d'une pince du porte-charbon et d'un charbon.

Cette longueur normale de l'arc se règle au moyen de la vis c_{50} (fig. 4) qui, en soulevant plus ou moins le ressort c_{15}, tendeur de la bande du frein c_{12}, règle la levée que B doit parcourir avant son serrage et, par conséquent, l'écartement du charbon correspondant à la fin de cette levée par l'électro b_{10}. La bobine de cet électro est enroulée (fig. 6) en b_{2x} dans l'espace annulaire réservé entre l'extérieur c de son noyau et la douille b_x, qui reçoit la tige b_{13}, et dont la polarité est opposée à celle de c, de sorte que b_{14}, une fois attiré sur c, y reste fixé par son magnétisme rémanant pendant le jeu des électros dérivés b_{12} b_{13}.

Chacun des porte-charbons est pourvu (fig. 2) d'une pince à mâchoire d' pivotée

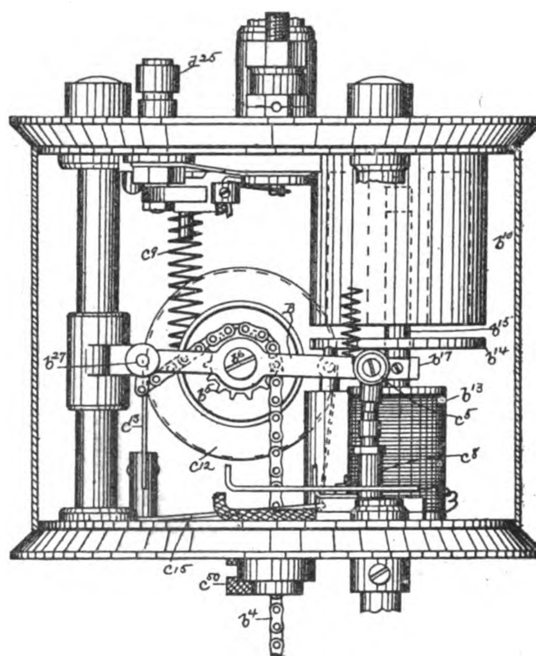


Fig. 4. — Lampe différentielle Heyman. Détail du mécanisme.

en d_2, et manœuvrée par une vis d_3, qui maintient solidement le charbon a. Ces charbons ont (fig. 3) la forme de tablettes creusées en d_4 de rainures alternées d'une face à l'autre, qui empêchent l'arc de courir d'un bout à l'autre de ces faces, et rendent la lumière très stable.

Le porte-globe d^x est fixé à une tige d_{20} enclanchée dans le tube a_5 par un verrou d_3 (fig. 6) qu'il suffit de tirer pour laisser le globe descendre dans la position indiquée en pointillé, où d_{20} est enclanché par un second verrou d_3.

Le fonctionnement de la lampe très rustique

de *Kester* est (fig. 8 et 9) le suivant. Quand le châssis G s'abaisse autour de *h* assez pour déclancher *n* de *n'*, le train klm_1m', ainsi rendu libre, permet au porte-charbon à crémaillère F de descendre jusqu'à ce que l'électro-aimant en série *o*, relevant G, renclanche *n* avec *n'*, et arrête la descente du charbon. La sensibilité de ce mouvement est réglée, par la position du contrepoids R, suivant l'intensité moyenne du courant. Enfin, le pignon *k* entraîne celui k_1I de la crémaillère dans le sens de la montée seulement par un cliquet *k'*, qui permet la descente à la main.

La lampe de *Smith*, également en série, a (fig. 10) son charbon supérieur 19 fixé à un châssis 3,3, entre les montants 2,2. A l'amorçage, l'électro 5, attirant son armature 12, serre, par 14-10, les freins 11 sur les montants

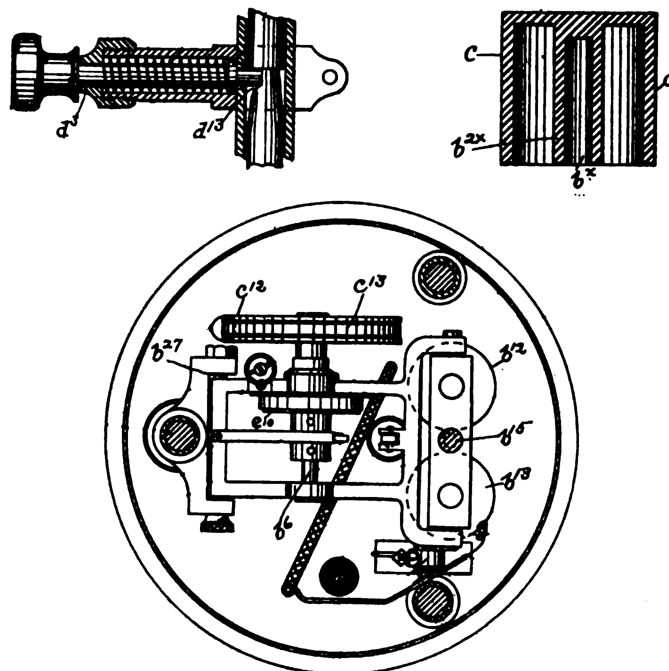


Fig. 5, 6 et 7. — Lampe différencielle Heyman. Détail de la pince porte-globe, du noyau de l'électro en série b_{10} (fig. 4) et plan du frein.

2,2, et soulève le châssis, qu'il laisse ensuite descendre, de manière à maintenir l'arc à sa longueur normale : c'est un mécanisme simple mais probablement instable.

Dans la lampe différencielle de MM. *Suisse* et *Hennequin* (fig. 11) l'électro dérivé *b*, d'une résistance *d'* environ 1 000 ohms, agit par une roue d'échappement *e* et un levier trembleur *gd*, à contact de rupture *c*, qui, dès que l'arc s'allonge, oscille, rappelé par *f*, et ramène par la suspension *ji* l'arc à sa valeur normale.

Le fonctionnement de la lampe *Stevens* est (fig. 12) probablement très stable. A l'origine, les charbons A et B étant séparés, quand on lance le courant l'électro en dérivation J abaissant M autour de K, avec le frein P_4, suivi sur la roue G solidaire du pignon de la crémaillère B pivoté sur M, abaisse le charbon supérieur B et relève l'inférieur A de manière à les amener au contact. Quand l'arc augmente, l'attraction de S augmentant aussi abaisse P au point qui sa butée P_3, portant sur J, desserre le frein et laisse les charbons se rapprocher. L'action du frein P_4 sur G se produit graduellement et sans choc, avec une sensibilité facile à régler par le ressort Q.

Le mécanisme de la lampe *Mac Intire* est remarquablement simple et compact. Le porte-

charbon supérieur I est suspendu à une vis H, à pas allongé (fig. 17), qu'il tend à faire tourner par son poids mais qui ne peut tourner qu'autant que le permet le cliquet *m* (fig. 15) du trembleur M de l'électro dérivé M_2, en prise avec son rochet K. L'amorçage s'opère par l'électro en série N' dont l'armature N soulève H par le collet de K. Enfin, un levier O_2 O_3

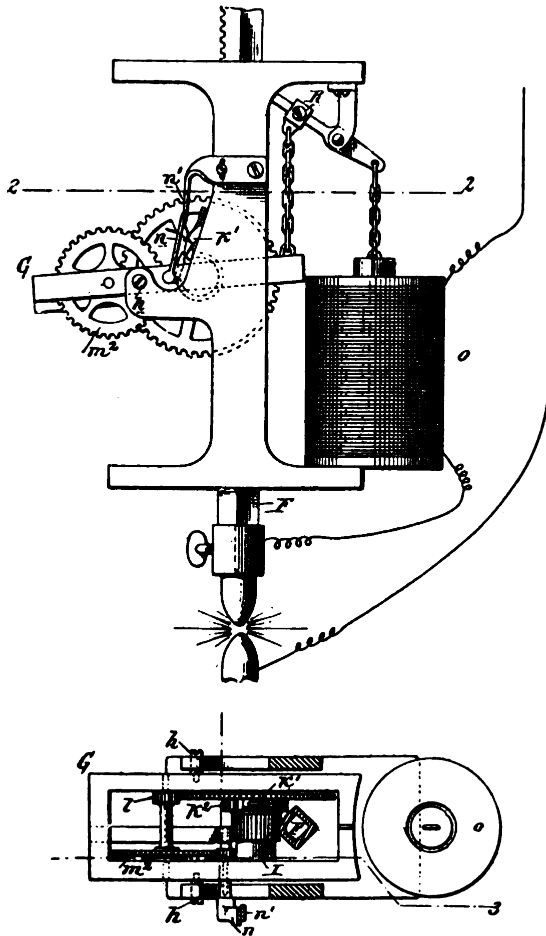


Fig. 8 et 9. — Lampe Kester (1894). Élévation et plan 22 du mécanisme.

(fig. 15) manœuvré par O, débraye *m* de K quand on veut abaisser le charbon à la main. Pour abaisser le globe, il suffit de déclancher, par c_2 (fig. 13) d_2 de c'; le porte-globe D peut alors descendre jusqu'à son arrêt par d' en c'. L'électro en série N' est relié au circuit par une résistance P.

On retrouve une disposition analogue dans la lampe à charbons courbes du même inven-

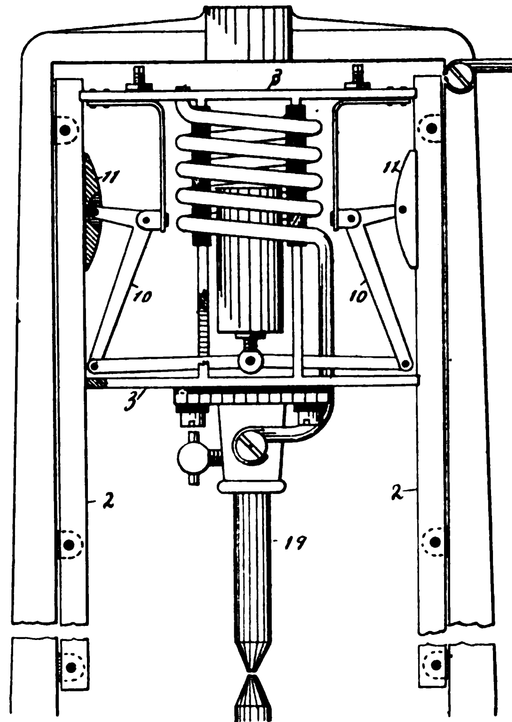


Fig. 10. — Lampe en série Smith (1894).

teur représentée par la figure 14 dans laquelle la vis H soulève ou laisse retomber par

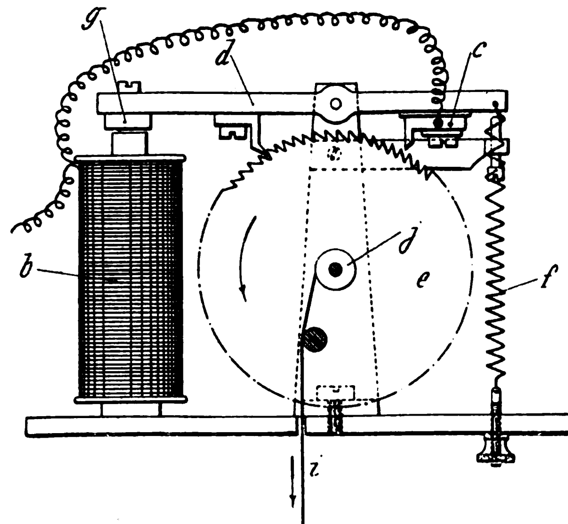


Fig. 11. — Lampe Suisse et Hennequin (1894).

l'écrou I le manchon G du chariot $FF'EE'$.

L'écrou I est à jeux coniques i et i, de sorte qu'il

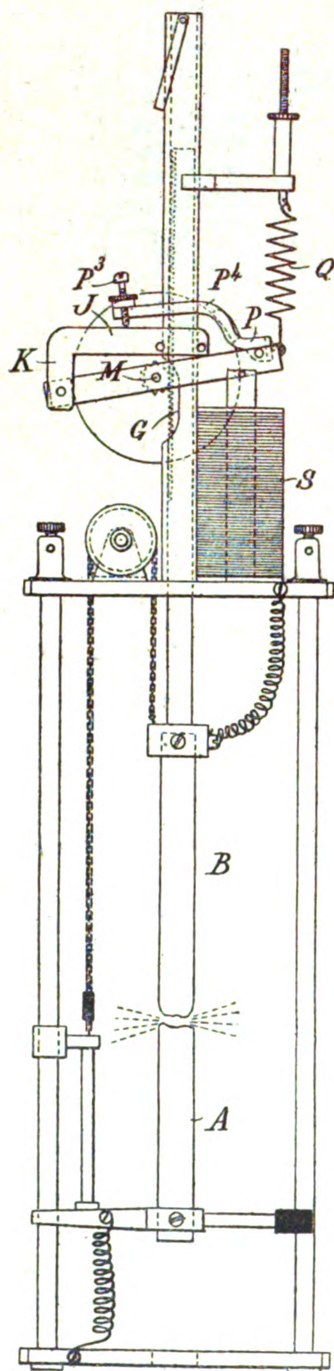


Fig. 12. — Lampe Stevens (1895).

suffit de le repousser au bas sur H pour lui permettre de glisser librement sur H; il est embrayé sur G par des griffes i_2 qui l'empêchent de tourner avec H.

Le mécanisme de la lampe *Schweitzer* également à charbons courbes est (fig. 19 à 23) des plus simples. A l'amorçage, l'électro en série i, attirant son armature malgré le ressort n et le poids des charbons, fait, par $h\ g''g$, pivoter le secteur denté c'', solidaire du porte-charbon b', et entraîne par le pignon fou e' le

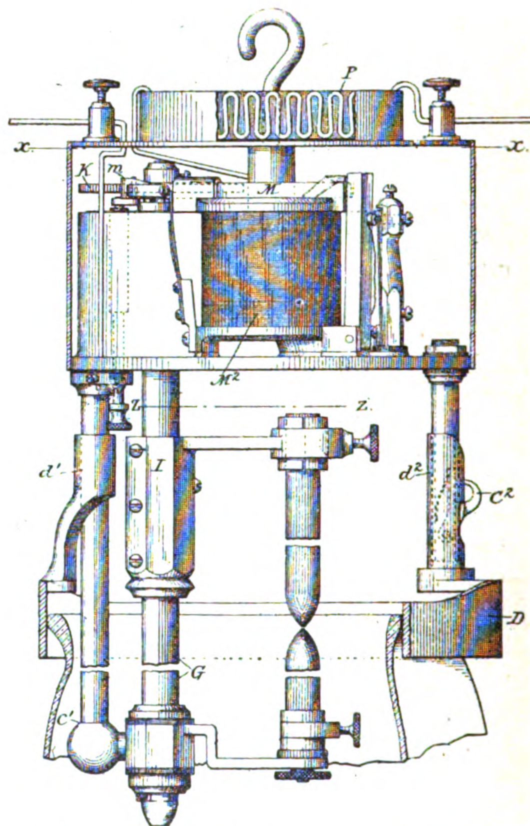


Fig. 13. — Lampe Mac Intire (1895). Élévation.

secteur c^2 de b, de sorte que les deux charbons s'écartent également; puis leur réglage se maintient comme dans toutes les lampes en série. Un contrepoids m compense les variations du moment des charbons par rapport à d, et des charnières p, à vis p_1, permettent d'en régler les bras b.

Le mécanisme de la lampe à charbons convergents de *Crosby et Shaw*, est (fig. 24 à 26) commandé par un seul électro-aimant en série B. L'amorçage s'opère par l'attraction de l'arma-

ture 35, dont le levier, pivoté en 17, abaisse, malgré le ressort 18, la tige 16 et les galets 30,30, de manière qu'ils séparent les charbons *cc*. Quand l'arc s'allonge, 30 remonte, laissant les charbons se rapprocher par les ressorts *m*, et aussi parce que le frottement des colliers *k* sur ces charbons diminue assez pour permettre au ressort 21 de faire, par *yz* et les bras 22 22, descendre les charbons dans leurs collets. Cette

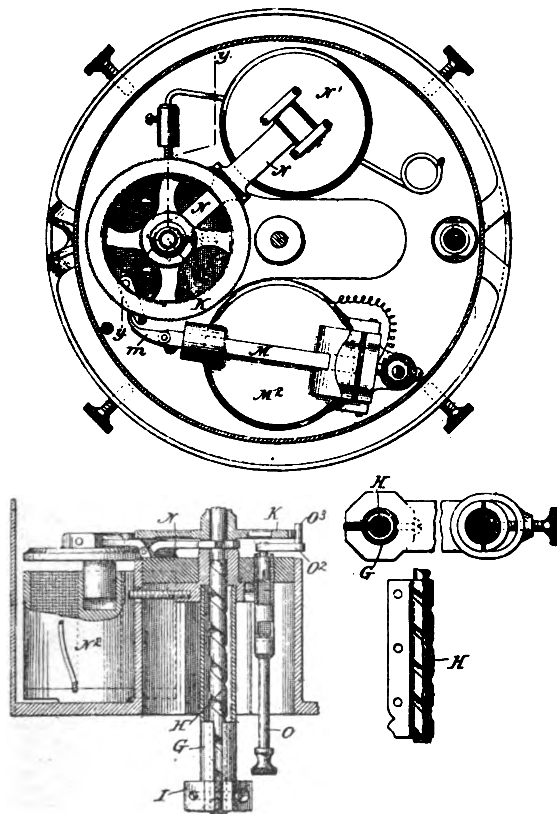


Fig. 14 à 17. — Lampe Mac Intire. Plan, coupe 2 2 (fig. 13), coupe *yy* (fig. 13) et détail de la vis H.

lampe donne, paraît-il, une lumière extrêmement stable.

La lampe a deux paires de charbons ou lampe double de *Walton* a (fig. 26) ses deux porte-charbons AA commandés, d'un solénoïde en série B, par un frein très simple, constitué, pour chacun des porte-charbons, par une bride H, qui serre ou lâche A par son sabot *g* suivant que son levier G est soulevé ou abaissé par son tram CDee_1e_2EF.

La lampe double de *Money et Hash* est (fig. 24) montée en différentielle. A l'amorçage, le solénoïde en série a_{11} attirant son armature a_{10}, fait basculer autour, de a_8 le levier a_7, à dash-pot a_{15}, de manière à soulever un châssis avec un train de pignons, calés par un cliquet, et qui fait aussi tourner le pignon a_4 de la crémaillère a_3 de manière à lever les charbons *aa*. Quand le courant diminue d'intensité par l'allongement notable de l'arc, le

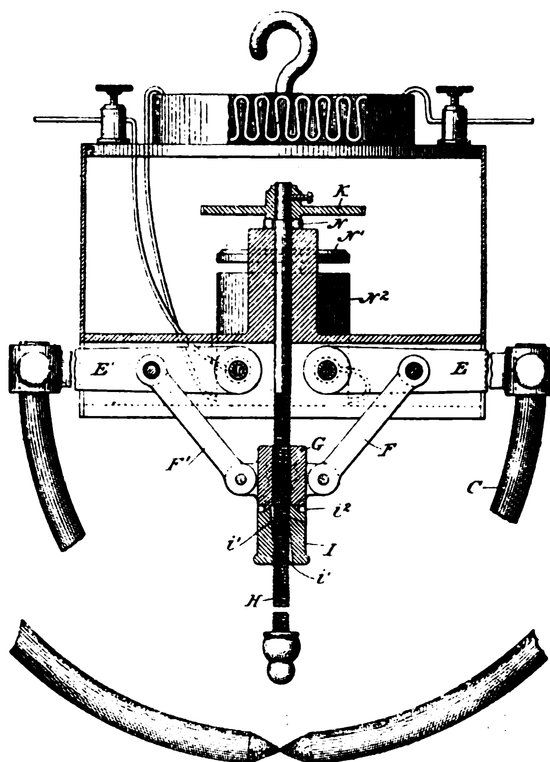


Fig. 18. — Lampe Mac Intire à charbons courbes. Vue de face.

châssis descend assez pour que le cliquet lâchant son rochet, laisse les charbons supérieurs descendre par leur poids. Les charbons inférieurs bb' sont reliés aux armatures b_4b_5 des électros dérivés b_6 par les bielles b_3 et le cadre articulé b_7b_4, à dash-pot b_9 : leurs régularisations par b_6b_6 sont ainsi indépendantes et coopèrent à la régularisation principale des deux charbons supérieurs, de manière à annuler les effets des impuretés des charbons.

La lampe à courant alternatif pour projec-

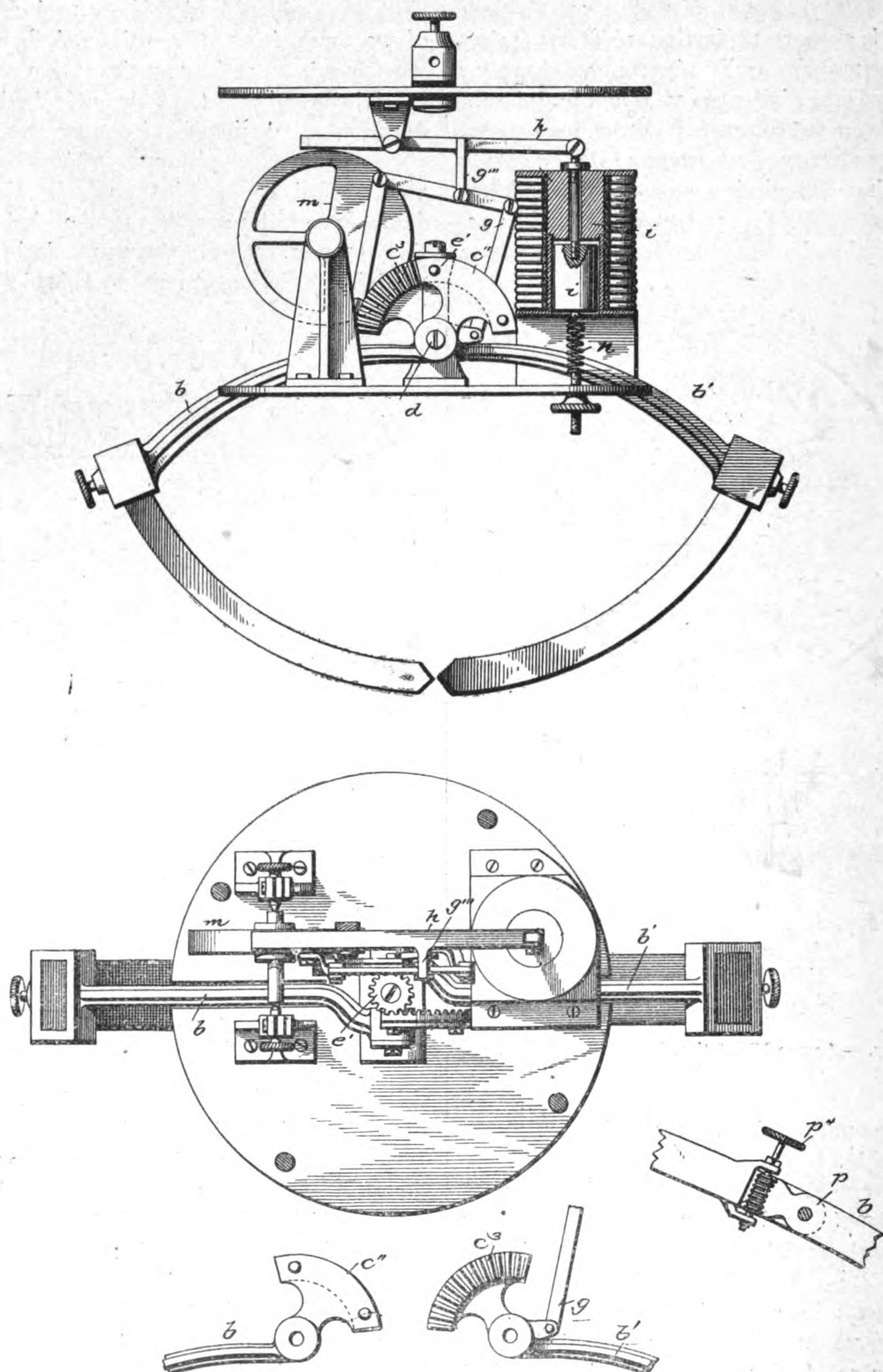


Fig. 19 à 23. — Lampe à charbons courbes Schweitser (1894). Élévation, plan et détails du mécanisme.

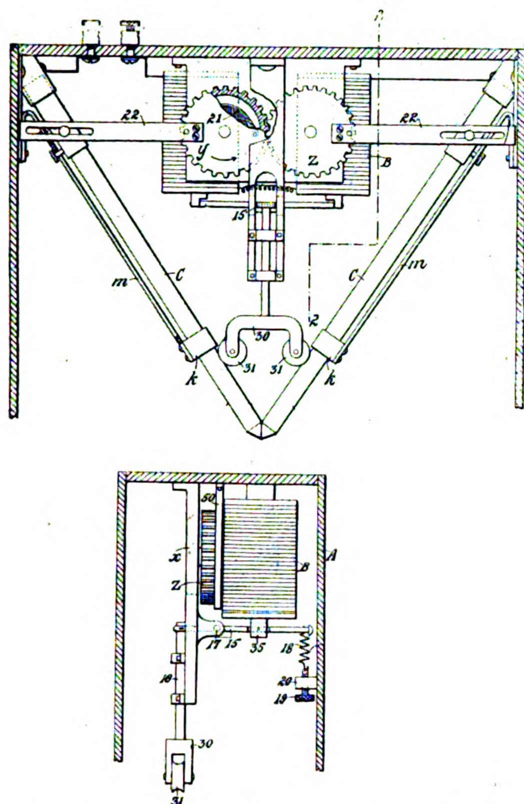


Fig. 24 et 25. — Lampe Crosby et Shaw (1895). Vue de face et coupe 22.

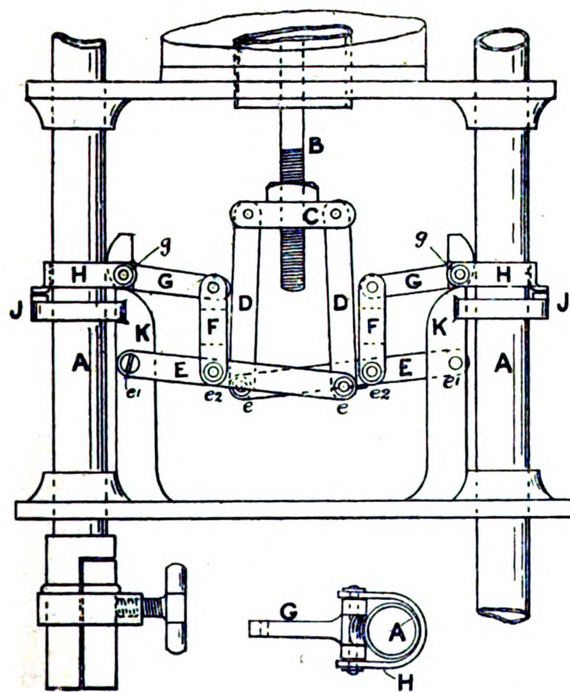


Fig. 26 et 27. — Lampe Walton (1894). Élévation et détail d'un frein G.

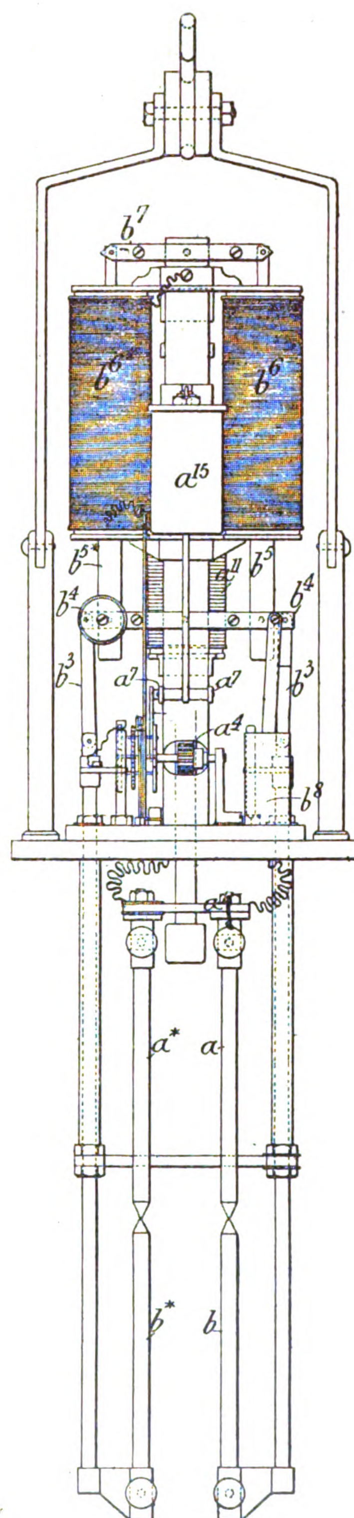


Fig. 28. — Lampe Money et Nash (1894). Élévation.

teur *Boardman* se règle (fig. 30 à 35) à la main, par un simple pignon *f*, à crémaillère *cc*, qui rapprochent ou écartent symétriquement les deux charbons sur le marbre *a* du bloc *g*, disposé de manière à en augmenter et à en stabiliser la lumière comme dans la lampe-soleil. C'est un dispositif fort simple, mais dont le principal mérite pourrait bien être de n'avoir pas dû coûter à son inventeur un bien grand effort d'imagination.

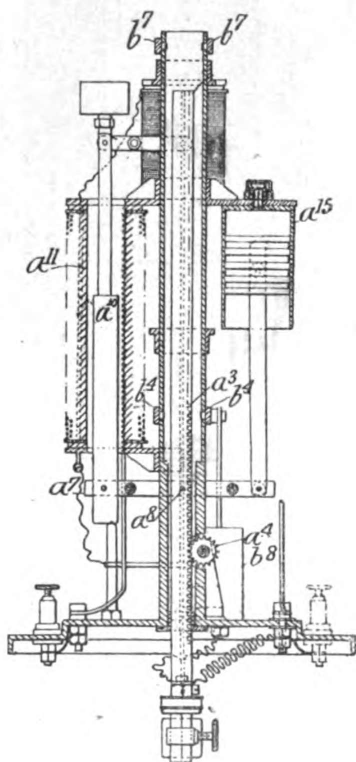


Fig. 29. — Lampe Money et Nash (1894). Coupe verticale du mécanisme.

La lampe du projecteur *Schauffel* est (fig. 36 à 40) installée sur une plaque 15, au haut de la caisse, de manière à intercepter le moins possible de lumière au réflecteur. Ses charbons recourbés 32,32 sont actionnés par deux électro-aimants : l'un en série 33, l'autre en dérivation 43. Les charbons étant en contact, pour l'amorçage, l'armature 35 de 33 fait pivoter le levier 36, dont le galet 39, engagé dans la coulisse 40 du bras 28 pivoté en 31 (fig. 40) lui fait écarter son charbon et faillir l'arc. Dès que l'arc, une fois amorcé, s'allonge, l'électro-aimant en dérivation 43 fait vibrer son armature 44 *a'* contact du trembleur 50, et, par suite, le bras 48 de l'encliquetage 21, qui tourne la vis 20 de manière à rapprocher les bras 27 et 28 des deux charbons 32.32 autour

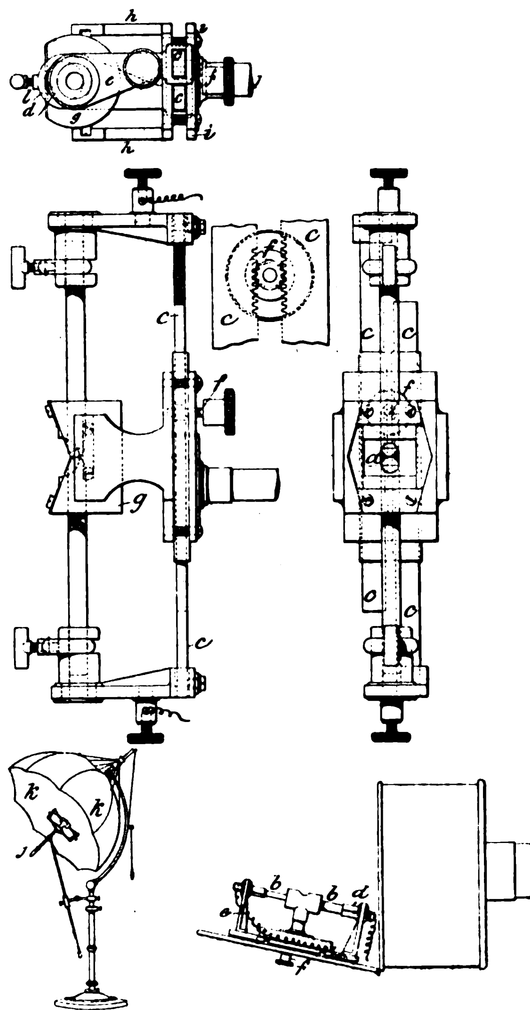


Fig. 30 à 35. — Lampe photographique Boardman (1894).

de leurs charnières 30, qui porte aussi l'électro 33. Si, au départ, les charbons ne sont pas en contact, le trembleur commence par les y amener, puis 33 les sépare comme précédemment.

Ainsi que l'indique le schéma (fig. 41 et 42), la lampe de *M. Higham* est régularisée par l'emploi simultané d'une paire de solénoïdes

s et *c* : l'un en dérivation, l'autre en série sur l'arc, d'une bobine à grande inductance et en série *k*, et de deux ressorts *q* et *q'*, agissant comme *s* et *c* sur un levier L*l'*, pivoté en *l*, avec frein *d'*D à butée *d*. Le ressort *q* est long et flexible, *q'* court et dur et relié à un dash-pot P. On a sur le diagramme (fig. 42) où les longueurs d'arc sont portées en abscisse, représentée par la courbe pleine, le passage d'une oscillation ondulatoire du courant dans la bobine *k*; par la courbe en traits allongés, le mouvement résultant du charbon AA' sous l'influence du ressort court *q'* avec P considéré comme fixe, et par une courbe pointillée les variations du

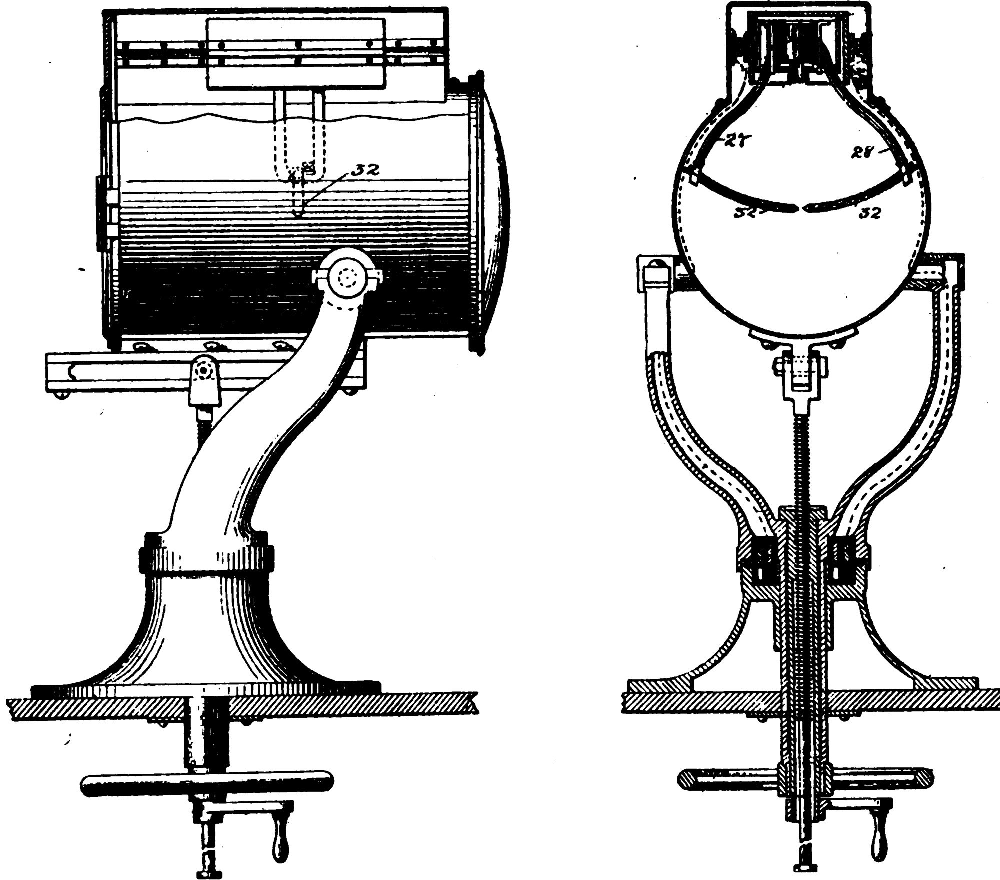


Fig. 36 et 37. — Projecteur Shauffel (1894). Élévation et coupe transversale.

potentiel, dues à l'inductance de *k* et à ces mouvements des charbons. On voit que ces mouvements sont un peu en retard des variations de l'intensité du courant, de sorte que les variations corrélatives de la longueur de l'arc n'y correspondent pas exactement. D'autre part, l'auto-induction de *k* est diphasée d'un quart d'onde par rapport au courant qui traverse la lampe, de sorte que cette discordance entre les variations du courant et celles de l'arc peut être compensée par celles du potentiel dues à l'auto-induction de *k*. En fait, si cette auto-induction est assez élevée, on peut obtenir une grande stabilité, et limiter les variations de l'arc à 2 ou 3 p. 100 de sa valeur normale.

M. *A. Brebner* a récemment apporté aux lentilles des phares un perfectionnement dont il sera facile de se rendre compte par l'examen des figures 43 à 49. On sait qu'en raison de ce

que le foyer de l'arc, en o, n'est pas un point mathématique, les rayons réfractés par les panneaux ABC, sortent non pas rigoureusement parallèles, mais avec des divergences horizontales et verticales. La divergence verticale doit être limitée à 1 degré environ, de manière à ne pas perdre inutilement de lumière, mais en conservant à la divergence horizontale la grandeur nécessaire pour prolonger convenablement les éclats du phare, de sorte qu'il y aurait grand intérêt à pouvoir régler cette divergence indépendamment de la divergence verticale. A cet effet, M. Brebner dispose en avant des panneaux principaux, une série de panneaux auxiliaires LMN (fig. 43 et 44) à prisme plan convexe (fig. 45) ou plan concave (fig. 46), croisant les rayons ou les divergeant sans croisement, ou encore disposés (fig. 47) de manière à écarter de b^{o} leurs faisceaux divergents de la direction P des rayons incidents.

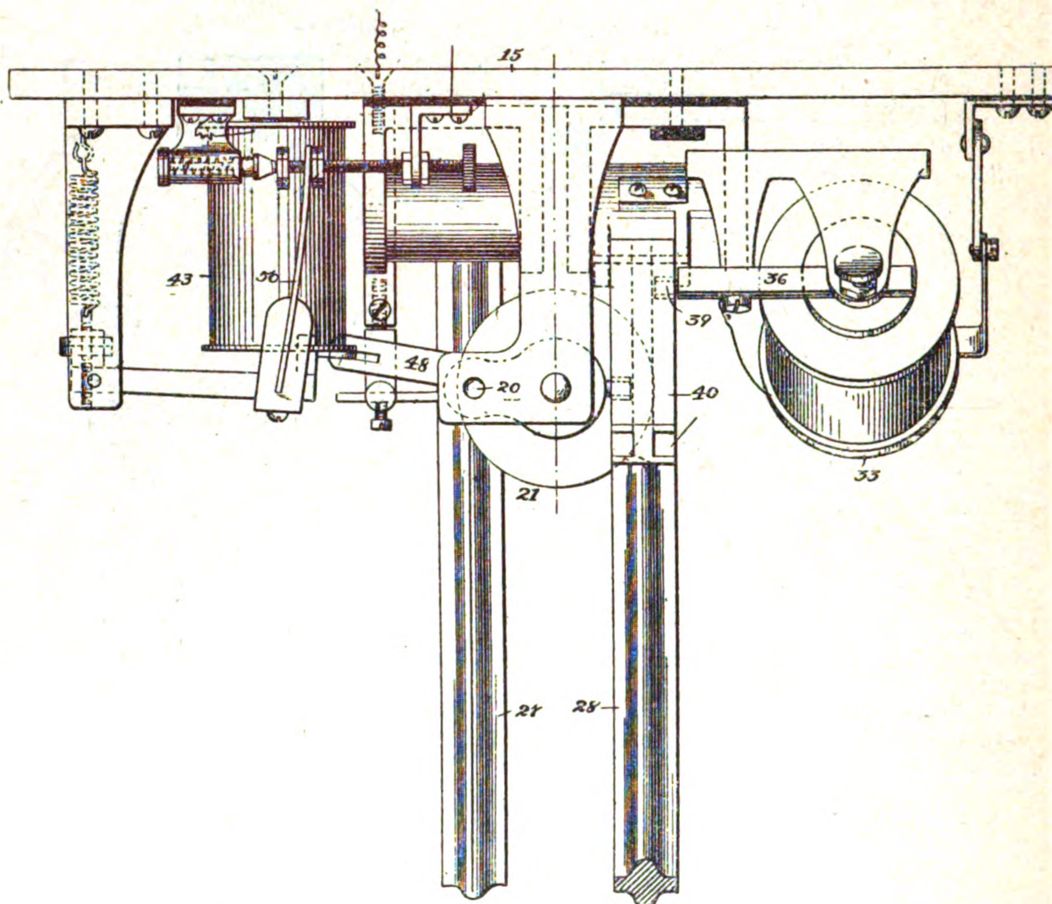


Fig. 38. — Projecteur Shauffel. Détail du mécanisme. Vue de face.

La figure 48 représente l'application du système à une lentille donnant, suivant le code marin, le nombre 12. Elle se compose d'un réflecteur focal de 180 degrés et de trois panneaux principaux, avec panneaux auxiliaires A, B et C, à 60 degrés l'un de l'autre, et divisés en deux groupes C-B et A, à divergences focales respectives de 32 et de 88 degrés, de manière à différencier très nettement leurs éclats, séparés par un grand arc noir de 240 degrés, entre C et A. Il en résulte que, si la lentille fait un tour par minute, on voit d'abord un éclat A de 6 degrés de divergence horizontale, et qui

dure, une seconde, une éclipse de 13 secondes

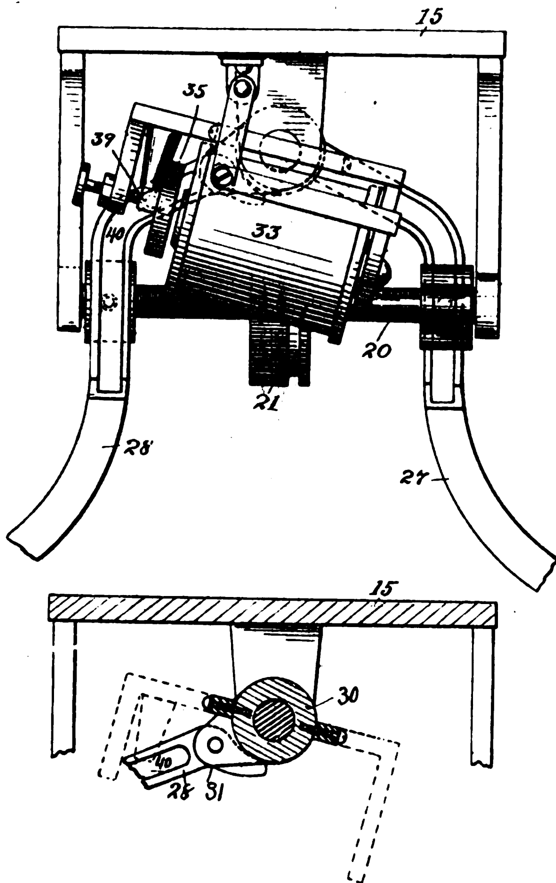


Fig. 39 et 40. — Projecteur Shauffel. Détail du mécanisme vu par bout et détail de la suspension du bras 27.

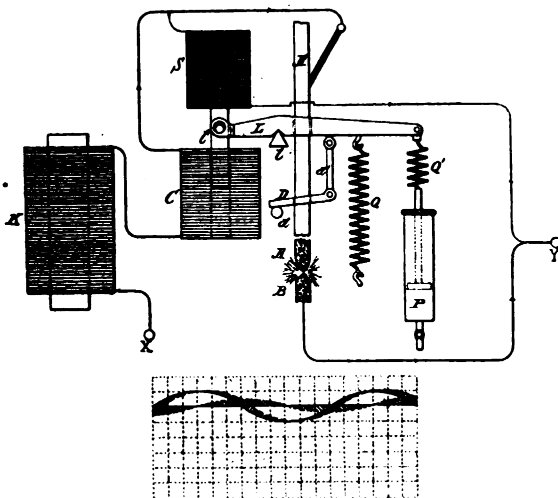


Fig. 41 et 42. — Lampe Higham (1894).

2/3, un second éclat d'une seconde, une deuxième éclipse de 4 secondes 1/3, un troisième éclat puis une longue éclipse de 39 secondes.

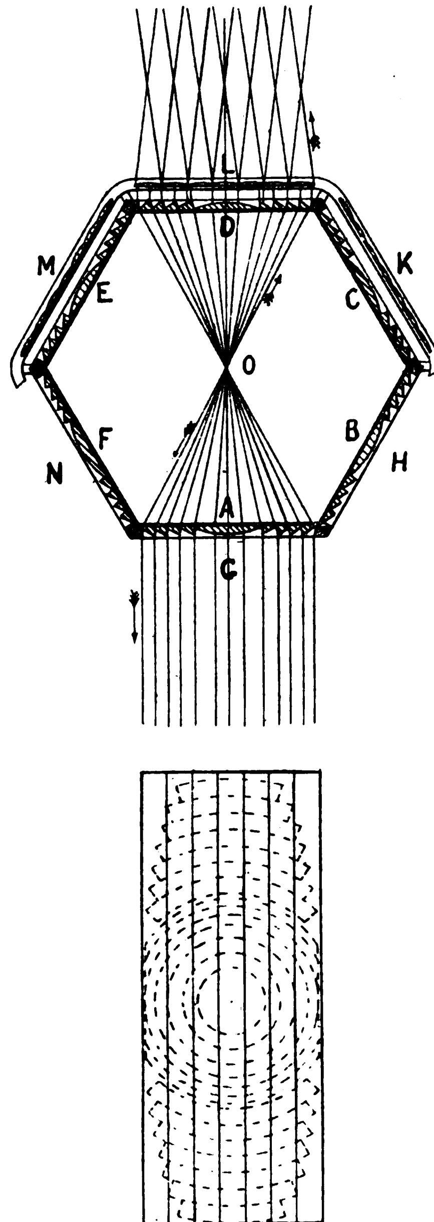


Fig. 43 et 44. — Lentilles de phares Brebner (1893).

Les faisceaux divergents de Brebner ont trouvé une application fort intéressante dans la production des éclats alternativement longs et courts, auxquels il faut, pour qu'ils ne s'altèrent pas avec la distance, donner la même

intensité spécifique. La lanterne représentée

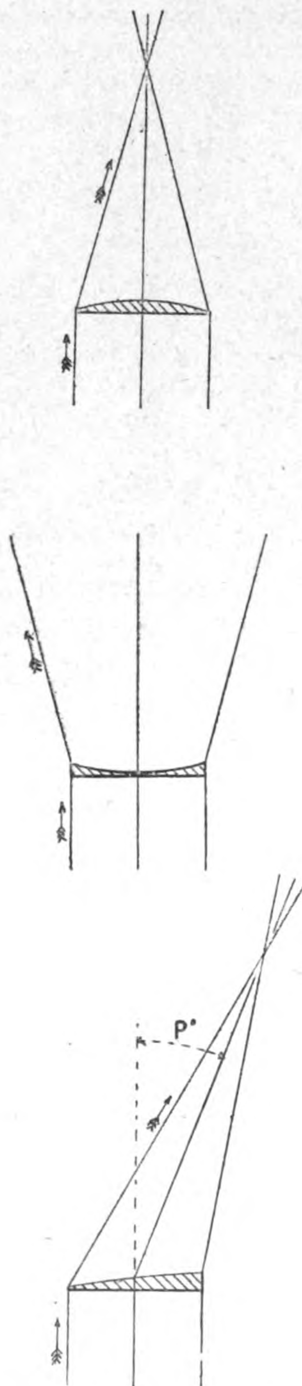


Fig. 45, 46 et 47. — Lentilles de phares Brebner (1893).

par exemple en figure 48 se compose de quatre groupes de deux panneaux chacun, comprenant chacun un panneau simple de 30 degrés et un panneau compound, ou avec panneau divergent auxiliaire sous-tendant un angle de

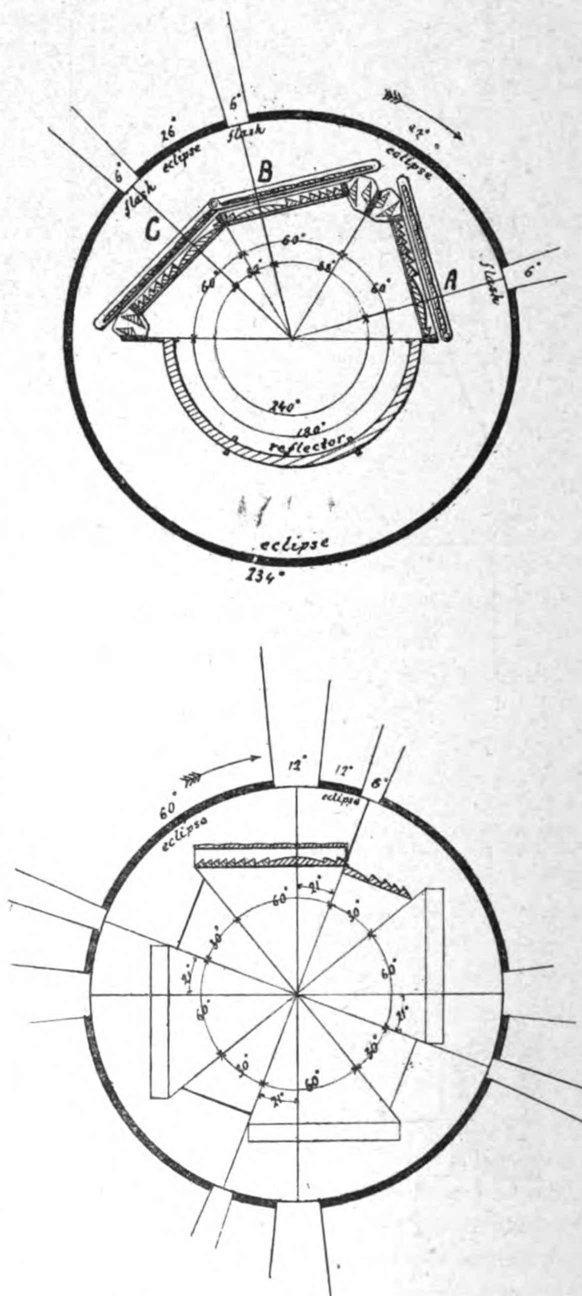


Fig. 48 et 49. — Lentilles de phares Brebner (1893).

60 degrés. Le panneau simple donne les éclats de 6 degrés et les composés ceux de 12° degrés de divergence horizontale, mais avec la même

intensité, puisqu'ils sous-tendent un angle focal double de celui sous-tendu par les panneaux simples.

GUSTAVE RICHARD.

LA THÉORIE ÉLECTRODYNAMIQUE

DU SYSTÈME DU MONDE (1)

1° Quand au mois de septembre 1889 j'ai soumis à l'Académie des sciences le résultat des expériences que j'ai imaginées dans le but d'imiter les mouvements des planètes par ceux d'une boule de cuivre rouge suspendue à un fil de soie tordu dans le champ d'un puissant électro-aimant avec un, deux ou trois pôles formés par autant de bobines de fil de cuivre d'égale longueur et de même épaisseur, j'ai insisté sur l'analogie absolue des mouvements planétaires et du mouvement de la boule de cuivre tournant dans le champ asymétrique des électro-aimants. J'ai proposé alors le remplacement des lois de Newton et de Képler par la loi de Gauss. Les courbes décrites par un style élastique fixé dans la direction de l'axe de rotation de la sphère creuse de cuivre et touchant la surface enfumée d'une plaque de verre horizontale ont été présentées par moi à la célèbre Compagnie. Lorsque la boule était soumise à l'influence inductrice d'un pôle seulement, les courbes obtenues étaient des spires circulaires. Elles devenaient des traces elliptiques dont les dernières se confondaient dans une trace unique en se rapprochant l'une de l'autre, lorsque l'on faisait agir à la fois deux électros-aimants. J'ai donné aussi au moyen des lois électro-dynamiques l'*explication expérimentale de l'hypothèse de Laplace, du mouvement spiraloïde de la nébuleuse de laquelle le monde solaire a pris son origine.*

2° Les courants induits dans la sphère en rotation sont repoussés par le pôle inducteur de l'électro-aimant, de manière qu'on peut, par un changeur de direction du courant fixé sur l'appareil électro-dynamique changer, brusquement le genre du courant dans les bobines, sans que le mouvement orbiculaire change de direction. *J'ai ainsi un moyen physique d'expliquer pourquoi toutes les planètes font leurs révolutions autour du soleil dans la même direction.* Laplace a expliqué la direction du même sens du mouvement planétaire dans notre système solaire par celle des mouvements spiroïdaux de la nébuleuse primitive.

3° Si on produit le mouvement orbiculaire de la sphère de cuivre par un ou deux pôles de l'électro-aimant, le diamètre des spires circulaires ou elliptiques conserve la même direction et le même grand axe pour toutes les spires et l'orbite définitive qui va se former. Cette circonstance met en pleine lumière *la cause réelle du principe de la conservation de la longueur de l'axe de l'orbite,* principe énoncé aussi par Laplace.

Si l'on conduit le courant dans toutes les trois bobines, l'action du troisième électro-aimant sur l'orbite elliptique qui aurait été produite par l'action des deux autres, produit une perturbation analogue à celle du mouvement planétaire. Le genre d'effet est pour ainsi dire *la solution graphique du problème de trois corps.* Pour changer les conditions de cette perturbation je ne constitue pas le troisième électro-aimant avec un noyau solide de fer, mais à l'aide d'un faisceau de fil de fer. De la sorte il se produit une aimantation beaucoup plus forte, avec un courant de 30 ampères par exemple, que dans les deux autres noyaux de fer.

On peut déplacer la bobine à fil de fer le long d'une rainure pratiquée dans le pied en bois de l'appareil électrodynamique, et on peut de cette manière placer les trois pôles des électros-aimants aux sommets d'un triangle isocèle quelconque. On peut démontrer ainsi :

(1) Conférence faite à la section de physique du Congrès de Bordeaux de l'Association française pour l'avancement des sciences et à la Maison électrique de l'Exposition de Bordeaux. (Voir l'*Eclairage Electrique* du 17 août, p. 294.)

1° Que la direction de l'axe des spires n'est plus constante : *mouvement du périhélie de la planète* sous l'action perturbatrice plus ou moins forte d'un troisième corps (cas du mouvement du périhélie de Mercure).

2° Que la *forme de l'ellipse, son excentricité se trouve changée, et qu'il en résulte une courbe ressemblant à l'ovoïde* (cas des astéroïdes perturbés par Mars et Jupiter).

En février 1890, MM. Tisserand et Lœwy ont eu la grande complaisance de recalculer l'orbite de Mercure en remplaçant la loi de Newton et Képler par la loi de Gauss-Riemann. M. Tisserand a trouvé *que la plus grande variation produite aux éléments de l'orbite planétaire se trouve dans le mouvement du périhélie de la planète tandis que la variation de l'excentricité est beaucoup moindre et que les autres éléments de l'orbite ne sont point sensiblement altérés par la substitution de la loi de Gauss-Riemann aux lois d'attraction universelle.*

C'est exactement ce que montrent les expériences faites par moi, en 1889, à la grande salle du Bureau central météorologique, que M. Mascart a eu l'extrême complaisance de mettre à ma disposition.

En même temps M. Weyher a fait une série d'expériences des plus intéressantes sur la théorie du mouvement tourbillonnaire et la formation des cyclones dans notre atmosphère. Or l'idée m'a frappé que le mouvement qu'on observe sur la sphère creuse de mon appareil électrodynamique n'est qu'apparent, que le mouvement réel est un mouvement hélicoïdal ou tourbillonnaire, dont nous voyons la projection seulement sur la plaque de verre enfumé.

M. Lœwy, d'après une communication faite en mars 1890 à l'Académie des sciences, est parvenu, en calculant les perturbations des éléments de l'orbite de Mercure sensiblement aux mêmes résultats que M. Tisserand, seulement en introduisant dans son calcul une constante arbitraire, pour mettre en évidence la vitesse de propagation de la force de gravitation que M. Tisserand a supposé égale à la vitesse de la lumière. Il se trouve qu'on doit supposer une autre valeur de cette vitesse pour faire disparaître la différence de 38 secondes du mouvement du périhélie de Mercure, inexplicable par les lois de Newton-Képler, tandis qu'avec la vitesse de la lumière on ne parvient qu'à expliquer les trois quarts de cette discordance. J'ai trouvé, d'après la formule donnée par M. Lœwy, qu'une vitesse de 184 998 kilomètres par seconde satisferait à cette condition. Or, c'est une vitesse bien observée par M. Peters, à Naples, sur des éclairs formés au noyau de grandes taches solaires, observations qui ont donné une vitesse de 200 000 kilomètres par seconde pour ces décharges énormes d'électricité solaire, et ceci confirme la justesse de la remarque de M. Lœwy d'une manière concluante.

Il est évident, comme le dit M. Lœwy, qu'il ne suffit pas, pour donner une théorie nouvelle du mouvement planétaire en se basant sur les lois électrodynamiques, de supposer une action électromagnétique du soleil sur les planètes, mais il faut encore l'action d'un potentiel électrique d'une certaine grandeur pour expliquer le tout.

Nous voyons toute l'importance de la substitution des lois électrodynamiques aux lois gravitationnelles, jusqu'ici généralement admises comme seule base possible des calculs astronomiques, si nous considérons que les lois gravitationnelles ne suffisent pas pour donner aujourd'hui un accord complet avec les observations si précises qu'ont rendues possibles le perfectionnement des instruments astronomiques, la photographie céleste, et les méthodes récentes d'observations. Le degré de précision acquis ne laisse pas la ressource, dont ont tant abusé les astronomes du pape pour expliquer les discordances entre leurs théories et les faits, de supposer des erreurs dans la détermination des coordonnées célestes, car un dixième de seconde est devenu une quantité mesurable avec toute sûreté par la photographie céleste.

Mais d'ailleurs, les lois de gravitation resteraient pour jamais impuissantes à expliquer

les phénomènes nombreux de répulsion absolument évidente chez les corps célestes, dans la formation de queues de comètes, etc.

Les lois électrodynamiques, au contraire, donnent le moyen d'expliquer aussi bien la répulsion que l'attraction d'après la même loi fondamentale du carré des distances. Elles permettent de regarder la loi de Képler comme un cas spécial de la loi de Gauss, quand, par exemple, il s'agit de l'action de deux aimants très distants l'un de l'autre par rapport à leurs dimensions. En effet, dans ce cas, la loi de Gauss,

$$\mathfrak{F} = \frac{2m\mu l}{r^3}\left(1 + \frac{1}{2}\frac{l^2}{r^2}\ \frac{3}{16}\frac{l^4}{r^4} + \cdots\right],$$

se réduit, les puissances de $\frac{l}{r}$ étant négligeables, à :

$$\mathfrak{F} = \frac{2m\mu l}{r^3} = \frac{l^2}{r^3},$$

c'est-à-dire à la loi des cubes des distances.

Nous voyons qu'on m'a reproché sans fondement d'attaquer la grande autorité de Newton ; j'admets que la loi de Newton soit de toute rigueur, quand il s'agit de l'action en ligne droite et dans un plan. Mais les actions de la force électrique et magnétique se produisent, comme M. Trouvé l'a montré et comme moi-même je l'ai fait voir dans mes photographies des courbes électriques de l'espace. En effet, je n'ai obtenu que des courbes en apparence spiroïdales ou des courbes hélicoïdales (1). Je ne peux qu'invoquer le témoignage d'un savant qui a consacré le travail de sa vie à l'étude du mouvement planétaire et de ses perturbations. Je veux parler de M. Newcomb, récemment élu associé de l'Académie des Sciences, de Paris. M. Newcomb, à qui j'ai envoyé depuis des années mes mémoires, a terminé en cinq années le travail énorme de réduire 60000 des observations précises des planètes en n'admettant aucune loi fondamentale, en s'appuyant seulement sur les équations générales du mouvement. En éliminant tous les éléments d'orbite l'un après l'autre, il a trouvé comme résultat final de cette énorme entreprise, que la loi de Newton

(1) Voir *Lumière Electrique*, 1894.

n'est point applicable rigoureusement au mouvement planétaire. En effet, il a trouvé au lieu de la loi du carré des distances r^2 une autre loi plus complexe : $r^{2+\delta}$ où δ est une très petite quantité mais pas du tout négligeable dans le calcul.

Comme on le voit, M. Newcomb a trouvé le même résultat pour la loi de Newton, que moi pour la loi de Képler (1).

Donc les lois de gravitation Képler-Newton doivent être remplacées par la loi de Gauss-Riemann, celle-ci nous donnant le moyen de faire disparaître les discordances entre la théorie et des observations bien constatées et irréfutables. En outre, cette loi est préférable parce qu'elle nous donne encore après tout la précieuse possibilité d'expliquer aussi bien les phénomènes de répulsion que ceux d'attraction dans les mouvements planétaires et cométaires, les mêmes effets se produisant en sens inverse lorsque l'on diminue la force du courant électrique parcourant les spires.

C'est ainsi que la comète célèbre d'Encke a soulevé une controverse acharnée pendant des années entre deux grands astronomes, Encke et Bessel, sur l'hypothèse de l'éther résistant, idée à laquelle Encke s'est rattaché pour rendre compte du retard que la comète a éprouvé dans les divers retours au périhélie. Bessel a nié absolument l'existence de l'éther résistant. On ne peut reprocher au célèbre astronome son obstination car la comète a fini par accélérer son retour de manière à revenir plus tôt à son périhélie, au lieu de se trouver de plus en plus en retard.

M. F. O. Sherman, astronome de Brooklyn, a eu la complaisance de m'envoyer un mémoire lu à l'Académie nationale des sciences en 1892 annonçant qu'il a trouvé que la comète Encke retarde et accélère ses retours d'après la période d'activité solaire. Ces résultats sont en accord absolu avec mes expériences de la sphère tournante dans le champ électro-magnétique; quand le courant dans les bobines

(1) Voir *Théorie du Monde électro-dynamique*. Paris, Carré, 1893.

est variable, chaque augmentation du magnétisme des pôles des électros-aimants produit uu agrandissement de l'axe de l'orbite elliptique, c'est-à-dire qu'elle donne lieu à une plus grande répulsion, laquelle répond à une orbite de dimensions supérieures. Elle produit en outre un retard dans le retour au périhélie.

Il y a encore une autre erreur dans la loi de Newton, l'erreur du signe, qui doit être négatif au lieu d'être positif, car l'action du potentiel énorme du champ électro-magnétique du soleil produit des courants d'induction dans le globe terrestre, comme dans les autres globes planétaires en rotation autour de leur axe. Il en résulte que la répulsion et le mouvement orbiculaire sont toujours liés l'une avec l'autre et se produisent toujours dans le même sens quelle que soit la direction des courants induits :

Si les choses se comportent ainsi dans le système solaire, nous pouvons considérer le mouvement comme celui d'une grande dynamo centrale agissant sur des plus petites dynamos réceptrices reliées à la grande dans l'espace céleste.

L'effet produit doit être que les mouvements orbiculaires ainsi produits s'harmonisent avec les nombres de tours de rotation de la grande dynamo centrale dont la rotation est naturellement de 27 jours.

C'est exactement la loi du mouvement orbiculaire planétaire, que j'ai exprimée ainsi [1]: *la période de révolution des planètes et des comètes est un multiple de la période d'une demi-rotation du soleil :*

$$\mathfrak{R} = n \times \frac{\mathfrak{T}}{2},$$

où n est un nombre pair ou impair, et la durée de rotation du soleil à l'équateur d'après M. Faye, 25, 187 jours.

On arrive au même résultat en étudiant les systèmes secondaires : la Terre et la Lune, Mars, Jupiter, Saturne, Uranus et Neptune, chacun avec son cortège de satellites. En réalité cette loi n'est rigoureusement applicable que pour les orbites non perturbées, mais les différences sont très petites pour tous les corps planétaires; elles sont maxima pour les corps fortement perturbés, par exemple ; Mercure, Vénus, Mars, la Lune et les satellites les plus rapprochés de leur corps central : Les satellites de Jupiter, Saturne, Uranus et Neptune les plus éloignés de leur corps central, suivent au contraire une autre loi et donnent le moyen de trouver par cette même formule la période de rotation du corps central.

$$\frac{2\mathfrak{R}}{n} = \mathfrak{T}.$$

M. Faye a présenté à la Société astronomique de France en mai 1895, un mémoire qui est publié dans le *Bulletin astronomique* et qui montre que les comètes périodiques et les astéroïdes suivent aussi la même loi [1].

Ch.-V. Zenger.

Professeur de Physique et d'Astronomie physique à l'École Polytechnique de Prague.

(1) Voir *Comptes rendus* de l'Académie des Sciences, 1883.

(1) *Bulletin de la Société astronomique de France*, août 1895.

SUR LES RÈGLES MNÉMONIQUES
EN ÉLECTRICITÉ [2]

Dans l'étude des phénomènes électriques et magnétiques; on est conduit à assigner un certain sens à la direction des flux électrique et magnétique. On reconnaît en effet que suivant l'orientation donnée aux circuits traversés par l'un ou l'autre de ces flux, les phénomènes observés sont différents.

Mais il est difficile *à priori* d'imaginer, en dehors des constatations expérimentales, le sens que doivent posséder ces flux dans les différents cas. La technologie électrique nous fournit à cet égard des règles et des moyens mnémoniques qui sont d'une grande utilité dans l'étude de ces phénomènes mais qui ne sont pas toujours très faciles à retenir, tant par

(2) Conférence faite à Lyon à la *Société des Arts industriels et d'Agriculture*.

la nature même de leur conception que par leur grande diversité.

C'est pourquoi j'ai pensé à les grouper ensemble, pour en faire l'objet de cette conférence; ce groupement en facilitera la comparaison et permettra de venir en aide à la mémoire qui souvent se trouve en défaut à cet égard. En même temps, je tâcherai d'apporter ma contribution à ce chapitre particulier de la technologie électrique.

Œrsted, de Copenhague, découvrit en 1820 qu'un courant agit sur l'aiguille aimantée. Il démontra que l'aiguille tend à se mettre en croix avec le courant et que le sens de la rotation dépend de la position relative de l'aimant et du courant ainsi que du sens de ce courant.

Ampère a résumé tous les faits établis par Œrsted dans une règle qui porte son nom :

Si l'on suppose un observateur couché sur le fil, de manière que le courant lui entre par les pieds, et regardant l'aiguille, le pôle nord ira toujours vers la gauche de l'observateur et du courant.

Cette règle est assez compliquée au point de vue mnémonique. Il y a trois points à retenir; deux pour la position du spectateur tout d'abord; il faut que le courant entre par les pieds et que l'observateur regarde l'aiguille; en troisième lieu il faut se rappeler que le déplacement du pôle, et spécialement du pôle nord, se fait vers la gauche.

Dans des cas semblables, il convient d'étayer la formule mnémonique sur la théorie. Or, on sait que le phénomène d'Œrsted est dû à l'action du champ galvanique développé par le courant tout le long du conducteur et que les actions des lignes magnétiques sont telles que les lignes de même sens se repoussent et celles de sens contraire s'attirent.

Par convention, on admet que les lignes de force sortent du pôle nord de l'aimant et rentrent dans le pôle sud; cette règle fixe le sens des lignes de force de l'aimant.

D'autre part, les lignes de force du champ galvanique sont des cercles fermés concentriques au conducteur dans des plans perpendiculaires à celui-ci. La règle suivante donne le sens de ces lignes de force : *C'est le sens des aiguilles d'une montre pour le courant qui s'approche du plan des lignes de force considérées et inverse des aiguilles d'une montre pour le courant qui s'éloigne.*

Ce sens est également déterminé d'une façon très ingénieuse par la règle du tire-bouchon de Maxwell. Cette règle n'exige aucun effort de mémoire, car elle résulte du fonctionnement même du tire-bouchon.

En assimilant le sens du courant à celui de la rotation du tire-bouchon, le sens de son avancement fait connaître celui des lignes de force fermées produites par le courant dans le champ galvanique. — La réciproque est vraie.

Remarquons d'ailleurs que la règle de Maxwell s'applique spécialement à un conducteur fermé; son application est moins nette lorsque le conducteur est rectiligne.

Si l'on a affaire à un conducteur rectiligne il est plus commode de renverser la règle de Maxwell en assimilant le sens d'avancement du tire-bouchon à celui du courant, c'est alors le sens de rotation qui donne celui des lignes de force. On voit alors que lorsque le tire-bouchon progresse en s'approchant dans le sens du courant, il doit tourner en sens direct des aiguilles d'une montre et c'est l'inverse lorsque le tire-bouchon est placé de façon à ce qu'il s'éloigne dans le sens du courant. Dans les deux cas le tire-bouchon donne les lignes de force galvaniques, suivant la règle déjà énoncée.

Si nous revenons à l'expérience d'Œrsted, les règles précédentes nous permettent de déterminer aisément le sens des lignes de force émanées du courant d'une part, de l'aimant, de l'autre, ainsi que le représente la figure 1. Il faut nécessairement pour qu'il y ait équilibre entre ces forces, d'abord, que l'aimant se mette en croix avec le courant afin que les forces agissent parallèlement, et pour qu'il y ait équilibre stable, il faut que le pôle nord se déplace pour se placer à gauche du courant.

Dans les phénomènes d'induction, les règles

sont encore plus nombreuses. Il s'agit de connaître le sens du courant induit dans un conducteur qui se déplace en coupant normalement des lignes de force magnétique.

On peut se servir, en premier lieu de l'observateur d'Ampére et adopter la règle suivante établie par Faraday. Le bonhomme doit être couché dans le sens des lignes de force du champ, il doit regarder dans le sens et dans la direction du déplacement et le courant d'induction ira de sa gauche à sa droite.

Puis vient la règle de Flemming qui vient pour ainsi dire matérialiser la règle précédente par l'emploi des trois premiers doigts de la main droite. Le pouce est dirigé dans le sens du mouvement, l'index dans le sens des lignes

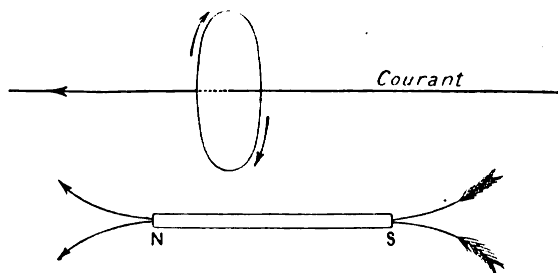


Fig. 1.

de force du champ et le médius dans la direction du conducteur. Le courant induit par le déplacement ira dans le sens indiqué par le médius.

On dispose encore d'une seconde règle de Maxwell, qui, ainsi que la précédente, s'applique spécialement aux circuits fermés. Le courant est orienté dans le sens de la rotation d'un tire-bouchon enfoncé dans le sens des lignes de force lorsque le flux décroît, il est orienté en sens inverse quand le flux croît.

Une autre règle analogue dit : quand on regarde un circuit siège d'un courant induit, si le flux de force qui pénètre par sa face antérieure diminue, le courant circule dans le sens du mouvement des aiguilles d'une montre, si au contraire le flux augmente, le courant circule en sens inverse.

Enfin la loi de Lenz, s'exprime ainsi : le sens du courant induit dans un circuit par une variation de flux donnée est tel qu'il s'oppose à chaque instant à la variation; c'est-à-dire qu'il est de même sens, que le courant qui produirait le flux diminué de façon à l'augmenter et de sens contraire au courant qui correspondrait au flux augmenté afin de le diminuer.

Une autre règle est ainsi formulée, analogue à celle d'Ampère. Un observateur étant couché sur le conducteur et tourné de façon à regarder dans la direction positive des lignes de force, si le mouvement se fait vers la droite, le courant entrera par ses pieds et sortira par sa tête.

On remarque que dans ces diverses règles, celles de Maxwell sont celles qui présentent l'application la plus simple et la plus commode, en matérialisant le sens des flux par

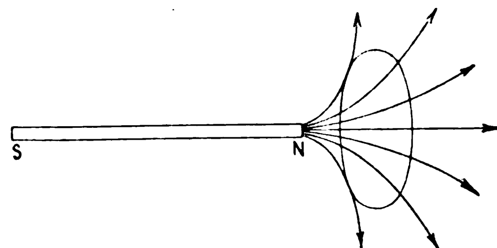


Fig. 2.

l'emploi d'un appareil connu de tous. La seconde règle de Maxwell cependant est moins parfaite que la première, car le phénomène d'induction est plus complexe.

J'ai pensé que l'on pourrait compléter cette règle en rendant à la fois le bouchon et le tire-bouchon mobiles, c'est-à-dire en considérant la vis d'Archimède munie de son écrou, dont on se sert pour percer les pièces minces de bois ou de fer.

On se représentera naturellement la croissance et la décroissance du flux comme produites par le rapprochement et l'éloignement d'un aimant (fig. 2), dirigé suivant l'axe du circuit, le pôle nord tourné vers le circuit. Je puis donc assimiler la vis d'Archimède à cet aimant, et lui imprimer un mouvement d'avance ou de recul vers son écrou, ce dernier étant maintenu, de sorte qu'il ne puisse prendre qu'un mouvement de rotation.

Le mouvement d'avance de la vis correspondra donc à une augmentation du flux dans l'écrou qui, lui, représentera le circuit électrique, et l'on voit que celui-ci tournera dans le sens inverse des aiguilles d'une montre, et son mouvement représentera le sens du courant, comme nous l'indique la loi de Maxwell. Le mouvement de recul correspond à une diminution du flux, et il produit une rotation de l'écrou dans le sens des aiguilles d'une montre, c'est-à-dire dans le sens du courant.

Cette règle a l'avantage de n'exiger absolument aucun effort de mémoire, elle est la représentation exacte des phénomènes envisagés ; elle est d'ailleurs susceptible de s'appliquer facilement aux différents cas, et notamment quand il s'agit d'un circuit rectiligne qui coupe des lignes de force.

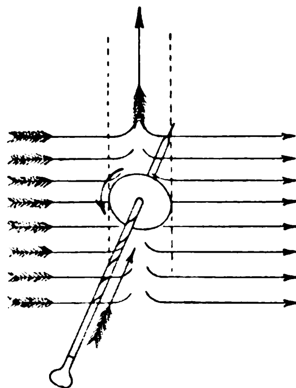


Fig. 3.

J'assimile la vis à un conducteur que je fais monter et descendre, ce conducteur coupe les lignes de force et l'écrou subit un frottement à son passage à travers ces lignes coupées; par suite de la direction des forces, le frottement ne s'exerce que sur la gauche et l'écrou tourne sous cette action ; le mouvement d'avancement ou de recul de la vis dans son écrou donnera le sens du courant (fig. 3).

Le même appareil utilisé pour déterminer le champ galvanique d'un courant reproduira exactement le tire-bouchon de Maxwell. Faisons tourner la vis d'Archimède dans l'écrou, dans le même sens que le courant, et le sens de pénétration ou de recul nous donnera nécessairement le sens des lignes de force. Ici, nous faisons tourner la vis; par suite, l'écrou ne doit pas tourner et c'est la rotation de la vis qui reproduit le sens du courant.

S'il s'agit de déterminer le champ galvanique d'un courant rectiligne, on enfoncera la vis dans le sens du courant (fig. 4), l'écrou étant maintenu immobile et le sens de rotation de la vis donnera le sens de rotation des lignes de force.

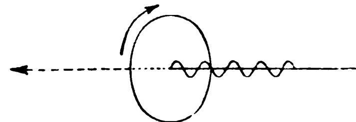


Fig. 4.

La règle de Maxwell peut donc ainsi être généralisée en prenant soin de rendre l'écrou mobile lorsqu'il s'agit des phénomènes d'induction.

R. BUSQUET.
Ingénieur des arts et manufactures

REVUE
DE LA PRESSE INDUSTRIELLE
ET DES INVENTIONS

Qualités magnétiques de l'acier forgé.

Les qualités magnétiques des composés du fer sont si intimement liées à leur composition chimique, à leurs propriétés physiques et à leur traitement industriel que leur épreuve à cet égard arrive à prendre rang à côté des essais relatifs à leur élasticité et à leur résistance à la traction.

Dans ces conditions, elles ne pouvaient manquer d'attirer l'attention de l'Artillerie. Les Etats-Unis ont en effet prescrit récemment dans cet ordre d'idées des expériences sur les conditions finales dans lesquelles se trouvent sous ce rapport les canons en acier terminés. Ces essais ont dû être menés avec tout le soin dont sont habituellement entourées ces sortes d'épreuves, et, comme ils sont susceptibles de

fournir des données utiles pour l'avenir, il est intéressant de les résumer d'après le compte rendu qui en a été publié dans le *Journal de l'Artillerie* des Etats-Unis.

L'échantillon a été découpé à la bouche d'un canon en acier doux, doué de remarquables propriétés physiques, forgé, trempé à l'huile et recuit.

Le mode d'épreuves en est particulièrement intéressant. L'échantillon étant de forme annulaire, on a eu recours à la méthode balistique, modification de celle de Rowland. Les anneaux possèdent en effet l'avantage de donner des circuits magnétiques fermés, sans pôles

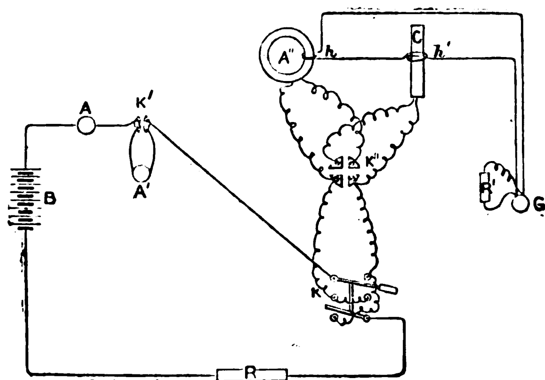


Fig. 1.

ni dérivations, bien qu'ils aient l'inconvénient d'être d'un enroulement plus difficile que les barreaux droits. Sans entrer dans la description du principe de la méthode employée, nous dirons seulement que le galvanomètre avait été vérifié par l'émission successive de courants d'intensité croissante dans le primaire de la bobine d'épreuve et par la constatation de la proportionnalité des élongations au galvanomètre.

La figure ci-dessus donne la disposition des circuits.

Il n'est pas inutile d'ailleurs de décrire avec quelques détails l'application de la méthode suivie ; elle peut rendre des services.

La puissance était empruntée à une batterie d'accumulateurs. K est un commutateur de renversement; R, un rhéostat permettant l'introduction et le retrait de résistances déterminées sans rupture du circuit; A, un ampèremètre étalon de Weston; A', un milliampèremètre-étalon en série pour la mesure exacte de petites valeurs du courant d'aimantation; K', un interrupteur à l'aide duquel le milliampèremètre pouvait être mis hors circuit sans rupture quand le courant dépassait la limite fixée; A'', l'échantillon soumis à l'épreuve et enroulé de deux bobines, une primaire et une secondaire. Cet anneau, tout d'abord revêtu d'un ruban d'okonite, recevait sur sa circonférence entière la bobine secondaire constituée de 200 spires de fil fin. Cette bobine secondaire était enroulée, contrairement à ce qui se pratique habituellement, à l'intérieur, et non à l'extérieur du circuit d'excitation, de manière à éliminer toute erreur due à l'intervalle d'air. Une nouvelle couche de ruban enveloppait cette bobine secondaire par-dessus laquelle était enroulée la primaire, formée de fil plus gros en deux couches, sur toute la surface de l'anneau, avec interposition de ruban entre chaque couche, comme précédemment.

Le commutateur K'' permettait d'envoyer le courant magnétisant soit dans le circuit primaire de A'', soit dans celui de la bobine d'induction étalon à noyau d'air, C, destinée à remplacer l'emploi d'un inducteur de terre pour l'étalonnage du galvanomètre et à éliminer les chances d'erreur dues à une détermination inexacte de la valeur de la composante horizontale du champ terrestre.

Le circuit balistique comprenait l'enroulement secondaire *h* de l'anneau d'épreuve, le secondaire *h'* de la bobine d'induction et le galvanomètre G, tous en série ce qui donnait à ce circuit une résistance constante pendant toute la durée d'une série d'observations et simplifiait les calculs. Le galvanomètre était également muni d'un shunt R' permettant d'en faire varier la sensibilité, et de la disposition ordinaire, que n'indique pas la figure, pour ramener l'aiguille au repos entre les lectures. Grâce à la bobine d'induction, la mesure de l'induction magnétique et celle de la force magnétisante dépendaient *d'un seul* et même instrument, l'ampèremètre-étalon Weston ; en même

temps, son grand nombre de spires permettait d'atteindre des inductions suffisantes pour donner des élongations balistiques de même ordre de grandeur que celles fournies par l'anneau éprouvé.

La bobine d'étalonnage était enroulée sur une tige de bois assez longue pour assurer l'uniformité à son centre de figure et assez large pour permettre la détermination exacte de sa section; la bobine secondaire était formée vers le milieu de la primaire.

Après avoir soigneusement pris les constantes de la bobine d'étalonnage et de l'anneau essayé, on relevait les courbes d'induction par la méthode des renversements.

On lançait d'abord le courant d'aimantation à sa plus haute intensité et on le renversait plusieurs fois pour porter cette aimantation à sa pleine valeur, le circuit balistique restant ouvert pendant cette opération préliminaire; on fermait ensuite le circuit secondaire et l'on renversait le courant, en même temps qu'on relevait la double induction d'après l'élongation au galvanomètre. Réduisant alors légèrement le courant et le renversant plusieurs fois comme précédemment, on mesurait de nouveau l'induction au renversement. En répétant la même opération jusqu'à ce que le courant magnétisant fût progressivement réduit à zéro, on obtenait des données pour la construction de la courbe.

Cette méthode de renversement offre le grand avantage de fournir chaque point *indépendamment* de tous les autres, et comme la lecture finale pour un point était la moyenne de trois lectures différentes, l'erreur se trouvait réduite au minimum. L'inconvénient de la méthode par approximations successives est au contraire de faire dépendre chaque point de la détermination exacte des précédents et de ne permettre qu'une seule observation pour chacun d'eux; l'échantillon a besoin d'ailleurs d'être complètement désaimanté au début, opération difficile, même avec une source alternative puissante.

Les deux méthodes donnent toutefois des courbes d'allure générale identique, à cette seule exception près que les valeurs d'induction fournies par la méthode de renversements sont un peu plus élevées. Mais, en raison des énormes vibrations auxquelles est soumis le canon pendant le tir, cette méthode donne probablement des valeurs encore trop faibles, ce qui est une raison de plus pour l'employer.

Les nombreuses séries d'observations ainsi relevées et les courbes qui en sont déduites présentent un caractère d'un grand intérêt et permettent d'apprécier la perméabilité et la réluctivité de l'acier.

Un grand nombre d'expériences ont également été faites en vue de déterminer comment se comporte l'acier à canons sous des forces magnétisantes cycliques. On a ainsi obtenu pour ce métal la constante d'hystérésis 0,007844.

Bien que la formule de Steinmetz qui sert à déterminer ces valeurs soit purement empirique et sans aucune signification physique, elle est néanmoins très utile notamment dans les études comportant l'emploi des courants alternatifs, comme celle des transformateurs, les approximations qu'elle fournit dépassant les limites ordinaires de la pratique.

Si superficiels que puissent être ces essais, d'après le rapporteur, ils n'en démontrent pas moins que l'acier à canons ainsi éprouvé possède, à côté de remarquables qualités physiques, d'excellentes qualités magnétiques, supérieures de 8 p. 100 à celles de l'acier fondu des meilleures marques employé aux Etats-Unis, qui le recommandent pour la construction des machines électriques et notamment pour les moteurs utilisés à bord des navires où l'on dispose de peu de place.

Des données récentes semblent établir une réelle connexion entre les diverses qualités physiques de l'acier. Ainsi l'acier au nickel qui possède à un degré peu commun une grande élasticité jointe à une haute ductibiliié se signale également par une perméabilité magnétique exceptionnelle. Il y a là une précieuse indication au double point de vue commercial et militaire, en ce moment où les aciers au chrome et au nickel sollicitent vivement l'attention comme métaux à canons. E. B.

Système monocyclique, exposé élémentaire, par Steinmetz.

A la suite de nombreuses demandes relatives à une exposition brève et claire de son systéme monocyclique, M. Steinmetz en a résumé les éléments dans l'*Electrical World.*

L'objet du système monocyclique est de remplacer l'ancien système à courants alternatifs ordinaire de distribution avec l'avantage, entre autres, de permettre l'alimentation de

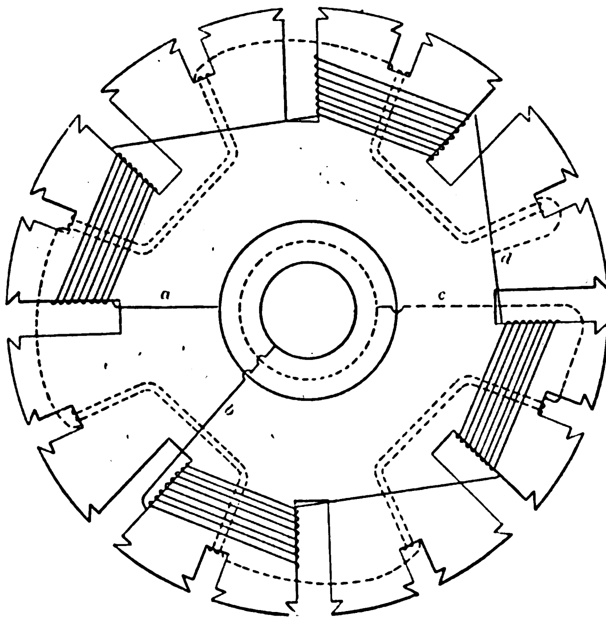


Fig. 1.

moteurs à courants alternatifs démarrant à pleine charge.

Les générateurs monocycliques ne diffèrent des types usuels d'alternateurs que par l'addition de petites et étroites entailles intermédiaires entre les entailles principales de la carcasse d'induit, comme on le voit sur la figure 1 ; ces entailles supplémentaires sont garnies d'un enroulement spécial indiqué en pointillé sur le diagramme.

Le fil en est de même section que celui des bobines principales ; mais les nouvelles bobines ne comportent que le quart des spires des précédentes et ne déterminent en conséquence qu'une f. é. m. égale au quart de celle développée par les autres. Ce bobinage additionnel est relié par un bout à une troisième bague collectrice dite médiane, et, par l'autre bout, au milieu du bobinage principal, comme l'indique schématiquement la figure 2.

Dans ces conditions, le courant supplémentaire doit revenir par la bobine principale et se heurte ainsi à la self-induction, non seulement de la bobine additionnelle, mais aussi de l'enroulement principal. Cette disposition, jointe à l'impédance de la ligne supplémentaire plus élevée comparativement à la tension dont elle est le siège, a pour effet de limiter la circulation du courant dans le circuit addi-

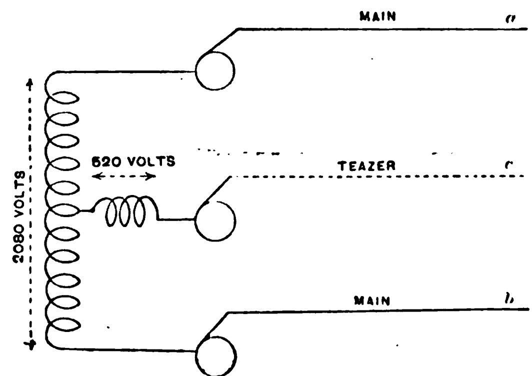


Fig. 2.

tionnel, de déterminer un abaissement de tension dans ce circuit dès qu'il lui est emprunté du courant, et, de maintenir ainsi les mêmes oscillations dans la puissance transmise qu'avec l'ancien système à courants alternatifs ordinaire.

Une seule des bornes de l'enroulement supplémentaire étant accessible, on ne peut mesurer directement la tension nouvelle au générateur. Quant à la différence de potentiel entre les bagues collectrices principales ou extérieures, c'est celle qui existe aux extrémités de l'enroulement principal ; et la différence de potentiel entre la bague collectrice médiane et l'une quelconque des bagues collectrices principales, elle est la résultante de la tension supplémentaire et de la moitié de la tension principale.

La tension auxiliaire étant, en circuit ou-

vert, égale à 0,25 de la tension principale, la différence de potentiel entre la bague collectrice médiane et l'une des bagues externes est $u =$ U. 252 + 0,52 = 0,57 de la tension principale.

Pour actionner des moteurs d'induction nor-

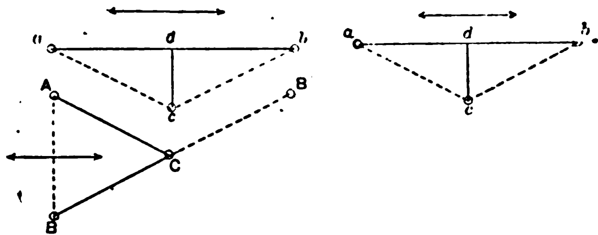


Fig. 3.

maux, on transforme la tension primaire soit à l'aide de deux transformateurs de mêmes dimensions, comme le représente schématiquement la figure 4, soit au moyen d'un grand transformateur, dit principal, et d'un plus petit, dit accessoire, ainsi qu'on le voit sur la figure 6.

La figure 3, correspondant à la figure 4, donne le diagramme des f. é. m. *ab* représente la tension primaire principale et *cd* la

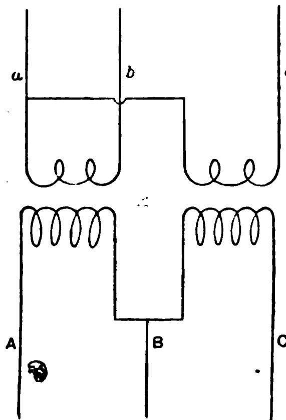


Fig. 4.

tension primaire additionnelle. Les lignes en pointillé *ac* et *cb* sont alors les tensions résultantes entre les fils principaux et supplémentaires; elles sont inclinées l'une sur l'autre d'un peu moins de 60 degrés. Par la transformation, *ac* se change en AC et *cb* en CB'.

Toutefois, comme la bobine secondaire est inversée, la tension secondaire devient CB, et l'on a ainsi le triangle secondaire ABC, dont le côté AB représente le produit du double de la tension supplémentaire par le rapport de transformation, tandis que les côtés AC et BC

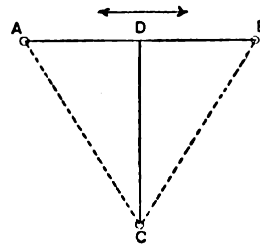


Fig. 5.

représentent les tensions résultantes des bobines principales et additionnelle. Le courant d'alimentation fourni au moteur par le fil C se partage pour revenir en partie par A et en partie par B.

Dans la transformation par transformateurs principal et additionnel, suivant la figure 5 correspondant à la figure 6, la tension supplémentaire *cd* se transforme dans un rapport

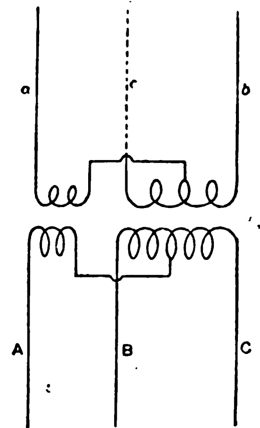


Fig. 6.

autre que la tension principale *ab*, ce qui modifie la hauteur *cd* du triangle primaire *abc* de manière à donner le triangle secondaire ABC, à peu près équilatéral. Cependant, bien que les f. é. m. fournissent ainsi sensiblement un triangle équilatéral, l'intensité, par suite de

l'impossibilité de faire passer des courants intenses dans le circuit supplémentaire, reste pratiquement en concordance de phase avec la f. é. m. principale; autrement dit, abstraction faite du décalage du moteur, elle suit la direction indiquée par les flèches dans les figures 3 et 5. E.-B.

Lampe à arc à mercure, par L. Arons (¹)

Les premières expériences faites par le Dr Léo Arons avec un arc produit entre deux électrodes de mercure ont été décrites dans *La Lumière Électrique* du 7 janvier 1893, p. 40. Depuis lors, l'appareil a reçu une forme pratique et a rendu des services dans différents laboratoires, entre autres à l'Institut physicotechnique allemand et au Bureau international des poids et mesures, à Sèvres, L'auteur promet de donner dans les *Annales de Wiedemann* une communication détaillée sur ses expériences. En attendant, nous allons donner une courte description de l'appareil.

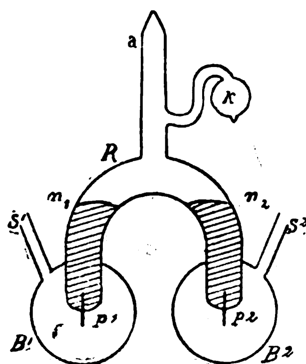


Fig. 1.

La lampe à mercure, entièrement en verre, présente la forme qu'indique la figure 1. Le tube de verre R, d'environ 1,5 cm. de diamètre est courbé en U, et porte scellés dans ses extrémités inférieures deux tubes de platines p_1 et p_2 de 1 mm. de diamètre. Un tube *a* met le dispositif en communication avec une pompe à vide, après remplissage des branches jusqu'au niveau n_1 n_2 avec du mercure pur et sec. Après raréfaction de l'air, poussée aussi loin que possible, le tube *a* est fermé au chalumeau. La boule latérale *k*, qui n'est pas essentielle, peut servir à régler le niveau du mercure une fois l'appareil fremé.

Comme les fils de platine ont à supporter des courants assez intenses, il est prudent d'entourer toute la partie inférieure de chaque branche d'un globe de verre rempli de mercure B_1 et B_2 et recevant le courant par les tubes S_1 et S_2 donnant passage à des fils métalliques.

L'arc s'amorce quand on incline légèrement l'appareil de façon à faire passer un peu de mercure d'une branche dans l'autre pour les faire communiquer momentanément. La source d'électricité doit fournir au moins 60 volts et il faut intercaler une certaine résistance. Entre de très grandes limites d'intensité (2 à 15 ampères), le voltage aux électrodes se maintient entre 15 et 18 volts, selon la distance entre les électrodes. Comme la « résistance au passage » ou la « force contre-électromotrice » est d'environ 12 volts, on peut compter environ 0,7 volt par centimètre d'arc, indépendamment de l'intensité de courant.

Une lumière très brillante d'un blanc verdâtre occupe tout le volume du tube, et l'arc, à l'exception du voisinage immédiat de la cathode, brûle avec une régularité très remarquable. Mais la décharge est discontinue, ce qui explique pourquoi la source de courant doit avoir une f. é. m. beaucoup plus élevée que la différence de potentiel aux bornes de l'arc, et comment une machine à courants alternatifs donnant 175 volts et 8 ampères à l'amorçage ne peut servir à faire fonctionner la lampe.

Le spectre de l'arc à mercure n'est pas continu il contient seulement les raies du mercure et celles du sodium. Comme la totalité de la lumière est fournie par un petit nombre de longueurs d'onde différentes, les raies du spectre sont extraordinairement brillantes, ce qui suggère l'application de cette lampe dans les mesures optiques qui nécessitent une source lumineuse intense de longueur d'onde déter-

(¹) *Zeitschrift für Beleuchtungswesen*, 15 août 1895.

minée. Ci-dessous, le tableau des principales lignes :

Nº	Longueur d'onde en μ.	Couleur.
1	696	rouge.
2	623	orangé.
3	612	
4	607	
5	579	jaune.
6	577	
7	546	vert.
8	492	
9	436	bleu.
10	435	
11	434	
12	406	violet.
13	398	

Pour éviter que les gouttelettes de mercure qui se condensent n'obscurcissent les parois, le professeur Lummer donne à cette lampe la forme indiquée par la figure 2. Le tube A B est

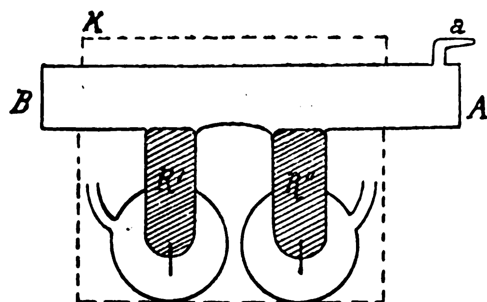


Fig. 2.

assez volumineux et assez long pour que les extrémités ne puissent se recouvrir de gouttes de mercure. Le dispositif entier est immergé dans une boîte métallique étanche K dans laquelle on établit une circulation d'eau. Dans ces conditions, on peut élever sans danger l'intensité du courant jusqu'à 15 ampères.

L'auteur a essayé de remplacer le mercure par des amalgames et par l'alliage de Wood, mais sans résultats avantageux. La seule condition, pour le bon fonctionnement de la lampe, est de pousser la raréfaction de l'air aussi loin que possible ; il est bon de faire fonctionner l'arc pendant l'évacuation.

La maison Muenke, de Berlin, construit couramment cette lampe.

A. H.

Traitement électrolytique des mattes cuivreuses argentifères et aurifères, en Amérique, par James Douglas [1].

Dans la quatrième *Cantor lecture*, sur les « Méthodes et procédés modernes employés en Amérique dans la métallurgie du cuivre, du plomb, de l'or et de l'argent », M. James Douglas donne les renseignements suivants sur l'état actuel de cette industrie.

La majeure partie des mattes cuivreuses argentifères et aurifères des États-Unis est traitée par l'électrolyse. Dans le Montana, il y a deux usines appartenant aux Compagnies de l'Anaconda et de la Boston and Montana. Dans l'est, il n'y a pas moins de huit usines de ce genre ; la plus importante est celle de la Baltimore Smelting Company, qui peut traiter annuellement près de 25 000 tonnes de cuivre ; elle est alimentée principalement par les mines de l'Anaconda. Aucune des autres usines ne l'approche en capacité ; mais leur production totale annuelle n'est pas moindre de 78 000 tonnes. Les points principaux des méthodes employées ont été décrits complètement par M. Titus Ulke, en 1893, dans les « Mineral Industries » de Rothwell. Les détails des méthodes employées par les différentes usines pour purifier l'électrolyte et pour séparer le cuivre et les métaux précieux de la gangue, ne sont pas, en général, publiés.

La pratique et l'expérience ont permis d'améliorer d'une façon évidente la qualité des produits électrolytiques américains ; les frais du traitement ont diminué pour les mêmes raisons et par suite de l'augmentation de la capacité productive. Il est, par conséquent, devenu assez rémunérateur de traiter électriquement le cuivre même allié à des proportions insignifiantes de métaux précieux, pour que la quantité de cuivre électrolytique placée sur le marché augmente sans cesse et que la production de cuivre fondu aille sans cesse en diminuant. Il y a en effet, peu de minerais, à l'ouest des Alleganies qui ne contiennent pas plus ou moins d'or et d'argent. Le jour viendra

[1] *Journal of the Society of Arts*, 30 août 1895.

même, peut-être, quand le minerai de Lake sera soumis au traitement électrolytique, où la concurrence entre les produits de Lake et les produits électrolytiques cessera. Cette augmentation de la production d'argent comme un sous-produit de l'affinage électrolytique du cuivre, a une influence marquée sur la question de l'argent. Les minerais de cuivre de Montana sans exception contiennent de l'argent avec des traces d'or, probablement dans la proportion de 1,400 kg. par tonne de cuivre. La production de cuivre de Butte de l'année dernière représente donc une production d'argent qui n'est pas moindre de 113 500 kg. d'argent qui, en dépit du bas prix de ce métal, est économiquement réalisée grâce à ces méthodes métallurgiques perfectionnées. Les cuivres de Lake contiennent probablement, en moyenne, 0,470 kg. d'argent par tonne de cuivre qui, si il était recueilli, ajouterait un autre million par an à la production globale de l'argent.

Jusqu'à l'introduction de l'électrolyse comme un moyen de séparation de l'or et de l'argent du cuivre, la conversion du cuivre en sulfate était beaucoup plus pratique qu'à présent; néanmoins, la couperose bleue, dépassant de beaucoup la demande nationale est fabriquée dans les établissements métallurgiques à Baltimore, Laurel-Hill, etc. Les procédés de fabrication ne diffèrent pas notablement de ce qu'ils sont en Europe. G. P.

Consommation de charbon dans les stations centrales, par M. F. White (1).

Le prix du charbon consommé dans les stations centrales forme une part importante des frais d'exploitation. Même dans les stations récentes de grande capacité, le compte charbon atteint souvent 25 p. 100 des dépenses totales d'exploitation; il n'est que très rarement réduit à 10 p. 100 et atteint parfois 50 et 60 p. 100 dans les petites usines. Les directeurs des stations centrales ont donc un grand intérêt à se rendre un compte exact de la façon dont ils pourront diminuer cette source de frais.

La dépense en charbon par unité de courant produit dépend de plusieurs causes : du prix du charbon par tonne reçue, de sa puissance calorifique, de la consommation de vapeur des moteurs à différentes charges, enfin, du rendement du système. Si la station a été installée par un ingénieur compétent, on peut admettre que les appareils, chaudières, moteurs, dynamos, etc., ont été convenablement choisis pour le service à effectuer. Reste donc à déterminer la qualité de charbon qui, en égard à son prix, est la plus économique. Il est très difficile de s'en rendre compte d'après la consommation de charbon rapportée au nombre de watts-heures produits, car le rendement des appareils varie dans de trop grandes proportions lorsque la charge est variable. Pour un service donné, la consommation de vapeur est constante et peut être prise comme base des évaluations. Il suffit dès lors de déterminer le poids d'eau par kilogramme de charbon d'un prix donné pour savoir après quelque temps d'expérience quel est celui qui convient le mieux.

M. White a fait quelques mesures de ce genre; pour cela il a monté un compteur à eau chaude entre le réchauffeur et la chaudière et une bascule à plate-forme pour peser le charbon dépensé. Le résultat de ces essais montre qu'il peut exister des différences de près de 50 p. 100 entre le prix de revient de l'évaporation d'un kilogramme d'eau, suivant la qualité du charbon employé.

Nous reproduisons, dans le tableau ci-dessous les chiffres principaux donnés par M. White, en les ramenant aux mesures françaises.

Les différences entre le poids facturé et le poids reçu sont dus aux différents modes de vente : au poids de la mine, au poids des chemins de fer ou à la capacité des wagons.

La puissance calorifique ou le poids d'eau évaporé par kilogramme de combustible dans les conditions les plus favorables n'est donc pas la seule condition qui doit déterminer le choix d'un charbon. Des essais directs en service courant sont préférables.

(1) *The Electrical Journal*, 15 août 1895, p. 108.

DÉPENSES EN CHARBON NÉCESSAIRES POUR L'ÉVAPORATION DE L'EAU AVEC DES CHARBONS DE QUALITÉS DIFFÉRENTES.

GENRE de charbon	FOURNISSEUR	NOMBRE de wagons	POIDS facturés en tonnes	POIDS reçus en tonnes	POIDS D'EAU évaporée en tonnes	NOMBRE de kilos d'eau évaporée par kilo de charbon	PRIX en francs du charbon pour évaporer une tonne d'eau
N° 1. Menus.	A	5	85	85	548	6,41	1,50
2. Noisettes mélangées	B	7	133	130	690	5,28	1,66
3. » » .	C	5	122	133	742	5,56	1,39
4. » » .	C	5	87	102	568	5,65	1,24
5. » tamisées . .	C	5	91	94	526	5,57	1,61
6. Tout venant	C	5	91	86	538	6,26	1,62
7. »	D	3	52	51	345	6,74	1,37
8. Noisettes mélangées .	E	4	60	60	296	4,94	1,77

M. White recommande donc d'installer dans chaque station centrale un compteur à eau. Dans les premiers temps, cet appareil servira à déterminer le genre de charbon à adopter. Lorsque ce choix aura été fait, le compteur pourra servir à contrôler la qualité du charbon, la température de l'eau d'alimentation, l'état des chaudières, le tirage, etc., car tout changement dans l'une ou l'autre de ces conditions influera sur le poids d'eau évaporée par kilogramme de charbon dépensé et sur le prix de cette opération. Le directeur de la station centrale étant averti pourra facilement remédier aux défauts de l'installation. « Il y a peu de stations, dit M. White en conclusion, dans lesquelles l'emploi intelligent d'un compteur à eau n'économiserait plusieurs fois son prix d'achat pendant le cours d'une année. »

G. P

REVUE DES SOCIÉTÉS SAVANTES

ET DES

PUBLICATIONS SCIENTIFIQUES

Quelques expériences sur l'hystérésis magnétique, par F. Holden [1].

On connaît l'instrument combiné par le professeur Ewing pour la mesure de l'hystérésis [1]. M. Holden s'est servi depuis quelque temps déjà d'un instrument analogue qu'il décrit dans l'*Electrical World*.

Dans cet instrument, l'échantillon de fer découpé sous forme d'anneaux est placé entre les pôles d'un électro-aimant que l'on peut faire tourner à des vitesses variables. Les anneaux de fer, empilés pour former un cylindre d'environ 1,8 cm. de hauteur et 8,9 cm. de diamètre extérieur, sont fixés sur un axe, à la rotation duquel s'oppose un ressort antagoniste. Lorsque, par suite de l'hystérésis, le cylindre de fer est sollicité à tourner avec l'électro-excitateur, l'axe dévie d'un certain angle qui peut donner la mesure du couple exercé, et par conséquent de la perte par hystérésis. Quant à l'induction, on la mesure par le courant induit dans une bobine fixe entourant, sans le toucher, le cylindre de fer, courant qu'un commutateur tournant avec l'électro redresse à chaque demi-période.

Les pertes par cycle ainsi déterminées aux différentes inductions sont représentées en fonction de la vitesse de rotation de l'inducteur par des droites plus ou moins inclinées. Ces pertes sont dues à la fois à l'hystérésis et aux courants de Foucault. On peut les séparer par la considération que l'hystérésis, ne variant pas avec la vitesse, est représentée par l'ordonnée à l'origine.

(1) *The Electrical World*, 15 juin 1895.

(1) *L'Eclairage Electrique*, t. III, p. 427.

Dans ces conditions, l'auteur trouve que la perte par hystérésis peut être représentée pour un de ses échantillons par $KB^{1,47}$, pour un autre par $KB^{1,4}$. L'exposant varie d'ailleurs de 1,4 à 1,7. Quant à la perte par courants de Foucault, elle est représentée en fonction de l'induction par une parabole. De même, quand on fait varier l'épaisseur des anneaux de tôle, les courants de Foucault croissent proportionnellement au carré de cette épaisseur.

Dans une nouvelle forme de l'instrument, l'électro-inducteur est de petite section par rapport à l'échantillon, de manière que l'induction y reste constante malgré les petites variations possibles du courant excitateur.

A. H.

Sur la relation entre l'induction magnétique maxima et la rémanence, par R. A. Fessenden (1).

MM. Houston et Kennelly (2) ont récemment appelé l'attention sur le fait qu'il semble exister une relation très simple entre les différentes valeurs de l'induction maxima produite dans le fer et l'induction rémanente. La formule s'applique à différentes variétés de fer. Les auteurs n'ont, toutefois, pas donné de courbes relatives aux inductions élevées dans le fer doux, et quoiqu'au point de vue pratique cette question soit de moindre importance, il est intéressant d'examiner si la relation linéaire en question est encore applicable dans cette région.

Voici donc quelques résultats obtenus avec un fer doux pour transformateurs :

$\mathcal{H}_{max.}$	$\mathcal{B}_{max.}$	$\mathcal{B}_{réman.}$
1,1	2 910	2 156
2,52	6 960	5 753
4,12	9 170	7 205
5,44	10 490	7 964
11,55	13 200	8 799
16,33	14 200	8 998
21,48	15 340	9 283

L'induction rémanente est assez bien représentée en fonction de l'induction maxima par la relation

$$\mathcal{B}_{rém.} = 0,8\,(\mathcal{B}_{max.} - 200),$$

ce qui confirme les résultats de MM. Houston et Kennelly. Mais pour les valeurs de $\mathcal{B}_{max.}$ supérieures à environ 10000, la courbe abandonne la droite et s'infléchit de telle sorte que la relation linéaire donne des valeurs très différentes de la réalité. Il y a donc là une remarquable différence entre les propriétés du fer doux et celles de l'acier.

Pour la pratique, qui emploie des inductions assez basses, on peut toutefois se servir de la formule empirique.

A. H.

(1) *The Electrical World*, 13 août 1895.
(2) *L'Éclairage Électrique*, 6 juillet 1895, p. 38.

Méthode simple de démonstration de la réfraction électrique dans les liquides, par D. Drude (1).

La longueur des ondes électriques diminue quand elles passent de l'air dans un liquide isolant. Le rapport des longueurs d'onde dans l'air et dans le liquide détermine l'indice de réfraction électrique du liquide. Théoriquement, cet indice est égal à la racine carrée de la constante diélectrique du milieu, ce que l'expérience vérifie.

Jusqu'à présent, on ne possédait pas de méthode simple et commode pour la mesure des indices de réfraction électrique. Cette détermination peut se faire, il est vrai, comme en optique, par la mesure de la déviation que subit le rayon électrique en traversant un prisme formé par le liquide à étudier, mais l'intensité du rayon s'affaiblit alors beaucoup, et la méthode n'est pas des plus commodes; car, en employant de grandes longueurs d'onde, les dimensions des appareils deviennent excessives, et, d'autre part, les ondes de petite longueur, telles que Righi les a produites, sont de faible intensité.

Il est donc plus avantageux d'avoir recours aux ondes qui se propagent le long de deux fils parallèles, dont l'intensité est plus grande

(1) *Wiedemann's Annalen*, t. LV, p. 633, 1895.

que celle des ondes se propageant dans l'air. Pour obtenir des ondes courtes de ce genre, en même temps que suffisamment intenses l'auteur a employé les dispositifs dont la description suit.

Production d'ondes courtes et intenses. — Deux méthodes se présentent pour la production d'ondes intenses dans deux fils parallèles : les méthodes de Lecher [1] et de Blondlot [2]. Dans la première, l'oscillateur possède une capacité considérable relativement à la self-induction ; dans l'oscillateur de Blondlot, au contraire, la self-induction est augmentée aux dépens de la capacité, ce qui diminue l'amortissement des oscillations et donne des ondes plus intenses. L'auteur a donc recours au dispositif Blondlot.

Dans la figure 1, EE représentent les deux fils d'un excitateur Blondlot, relié par les fils AA aux pôles d'une bobine de Ruhmkorff, F désigne la distance entre les boules excitatrices, C est un petit condensateur dont les armatures sont reliées à EE. L'oscillateur est entouré de très près du conducteur secondaire S, qui se termine en deux fils parallèles DD. Sur ceux-ci peut être placé transversalement, en un point quelconque, un étrier métallique B_1. Le système entier : excitateur et circuit secondaire jusqu'au pont B_1 présente une certaine durée d'oscillation propre, que nous appellerons *l'oscillation principale*.

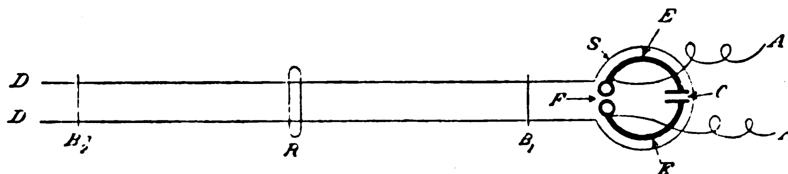


Fig. 1. — Oscillateur en grandeur naturelle ($\lambda = 12$ cm.).

Pour examiner les oscillations produites au delà du pont B_1 par l'oscillation principale, on pose un tube de Geissler R (avec ou sans électrodes) en travers des fils DD, à quelque distance du pont, puis on déplace un deuxième étrier B_2, croisant les fils au delà du tube de Geissler. Pour certaines positions bien déterminées de B_2, le tube R s'illumine ; dans ce cas, la distance entre B_2 et B_1 est un multiple de la demi-longueur d'onde d'une oscillation qui résonne avec l'oscillation principale. On trouve généralement différentes longueurs d'onde qui sont entre elles dans les rapports 1 : 2 : 3, etc. Mais la plus longue oscillation, qui est aussi la plus intense, *l'oscillation fondamentale* est à l'unisson avec l'oscillation principale.

La position du premier pont B_1 affecte également la période de l'oscillation fondamentale, elle est d'autant plus courte que B_1 est moins éloigné de l'excitateur. La règle suivante a été établie par l'auteur : En appelant d la distance de B_1 à F, la demi-longueur d'onde de l'oscillation fondamentale est égale à celle de l'excitateur libre (non entouré du secondaire) augmentée du terme ad, a est une constante dépendant de la disposition du conducteur secondaire. Dans les dispositifs de l'auteur, où la distance entre les fils DD variait de 2 à 20 cm., les valeurs de a étaient comprises entre 0,1 et 0,6. Quand le condensateur en EE est supprimé, la demi-longueur d'onde de l'excitateur seul est à peu près égale à la longueur de celui-ci ; la demi-longueur d'onde de l'oscillation fondamentale est alors, en effet, égale à la longueur de l'excitateur, plus ad.

L'intensité de l'oscillation fondamentale secondaire dépend de la forme et de la position de l'étrier B_1. On a avantage, pour conserver

(1) *Wied. Ann*, t. XLI, p. 850, 1890. *La Lumière Electrique*, t. XXXIX, p. 89.
(2) *Comptes rendus*, t. CXIII, p. 628, 1891.

aux phénomènes leur netteté, à employer des étriers rectilignes. L'intensité croît avec la distance d du pont B_1 à l'excitateur, elle reste ensuite constante et finit par diminuer quand d devient très grand. La condition la plus favorable semble être de faire la longueur totale du secondaire jusqu'au pont B_1, égale ou un peu plus grande que la longueur d'onde de l'excitateur, c'est-à-dire égale au double de la longueur de l'excitateur, dans le cas où le condensateur C est absent.

En augmentant la distance entre les fils DD, on fait, en général, croître l'intensité : 1° parce que la longueur du pont B_1 augmente, et que la partie commune aux oscillations primaires et secondaires est, de ce chef, augmentée; 2° parce que l'accroissement de la self-induction diminue l'amortissement. Pour favoriser cette dernière cause, il est bon de ne pas prendre de fils DD trop gros (1 mm., par exemple, pour une distance de 2 cm. entre les fils).

L'adjonction du condensateur C rend les oscillations plus intenses, mais en même temps, elle allonge l'onde.

En somme, l'auteur recommande pour l'obtention d'ondes de longueur déterminée, d'employer un excitateur EE sans condensateur, et de longueur totale un peu inférieure à la demi-longueur d'onde. Le secondaire S doit être le plus rapproché possible de l'excitateur.

Quelques circonstances accessoires sont encore à noter. Pour les ondes supérieures à 4 mètres, on fait éclater l'étincelle entre des sphères de zinc, qui fonctionnent pendant des semaines sans qu'il soit nécessaire de les nettoyer. Pour des ondes plus petites, il est plus avantageux d'employer des boules de laiton polies, immergées dans le pétrole ou l'huile. Enfin, pour éviter les décharges entre l'excitateur et le secondaire, sans cependant augmenter la distance entre ces deux parties de l'appareil, il est bon, lorsque le diamètre de l'excitateur descend au-dessous de 10 cm. de plonger tout le système dans du pétrole. La longueur d'onde est alors, il est vrai, augmentée à peu près dans le rapport de 1,4 à 1, mais l'intensité des effets n'est pas amoindrie.

Dans le pétrole, il faut prendre la plus grande longueur d'étincelle possible, mais, dans l'air, on ne doit pas dépasser un certain maximum (1/2 à 1 cm.).

Enfin, le choix de la bobine d'induction n'est pas indifférent. Pour les petites ondes, de petites bobines avec interrupteur à contacts de platine sont plus avantageuses que les grandes. L'auteur emploie, pour produire des ondes de 14 à 4 m. de longueur, une bobine de Ruhmkorff à interrupteur à mercure, alimentée par 2 accumulateurs et donnant dans l'air 4 cm. d'étincelle entre pointes. Pour les ondes de 4 m. à 60 cm., il se sert d'une bobine fournissant avec 3 accumulateurs, 2,5 cm. d'étincelle; et pour les plus petites ondes, d'une bobine donnant des étincelles de 2 cm. avec 2 accumulateurs.

Dans ces dispositifs l'intensité des effets diminue naturellement avec la longueur d'onde. L'emploi des tubes de Geissler et de Zehnder [1] placés sur les fils permet de déceler les ondes longues et moyennes; et le résonateur de Righi [2], constitué par une lame de verre argentée dont la couche d'argent est séparée en deux par un trait très fin que traversent les étincelles, sert pour les ondes de 25 à 12 cm. de longueur.

Le plus petit des oscillateurs employés par l'auteur est celui représenté en *grandeur naturelle* par la figure 1. Il est formé de deux bouts de fil EE de 1,5 mm. de diamètre, courbés circulairement et portant à une extrémité des boules de laiton de 3 mm. de diamètre. Le diamètre du cercle EE est de 1 cm. Ces fils sont collés à des bâtons de cire à cacheter et le tout est plongé dans le pétrole. La grosseur du fil secondaire est de 1/3 mm. La distance entre les fils DD est de 1/2 cm.

Avec cet appareil on peut répéter en miniature toutes les expériences de Lecher sur la résonance électrique.

---

(1) *Wied. Ann.*, t. XLVII, p. 82, 1892. *La Lumière Électrique*, t. XLVII, p. 334.

(2) *L'Éclairage Électrique*, du 25 février 1895, p. 356.

Nous donnons ci-dessous le tableau des dimensions des principaux excitateurs employés par l'auteur, ainsi que les longueurs d'onde obtenues. Dans quelques cas, un condensateur formé de deux disques de laiton de 10 cm. de diamètre et 2 cm. de distance était ajouté à l'excitateur. Les longueurs d'onde indiquées sont celles de l'oscillation principale. Toutes les longueurs sont exprimées en centimètres.

DIAMÈTRE de l'excitateur.	LONGUEUR.	DEMI-LONGUEUR D'ONDE avec condensateur	sans condensateur	
180	565	684	566	Excitateur dans l'air.
60	188	295	192	
20	63	132	70	
10	31	—	36	
10	31	—	52	Excitateur dans le pétrole.
5	16	—	30	
2	6	—	13	
1	3	—	6	

Pour l'excitateur de 31 cm. de longueur la longueur d'onde a été déterminée pour l'air et pour le pétrole. Le rapport des deux longueurs est 52 : 36 = 1,44; le carré de ce nombre, 2,08 représente bien la constante diélectrique que l'on indique habituellement pour le pétrole.

Démonstration de la réfraction dans les liquides. — Le procédé de démonstration le plus simple consisterait à faire passer les fils parallèles DD dans une couche du liquide à étudier. Comme les longueurs d'onde dont on dispose sont petites, les quantités de liquide à employer peuvent être peu considérables. Mais les plus petits excitateurs sont ici moins commodes à manier que, par exemple, l'excitateur de 5 cm. de diamètre, donnant des ondes de 60 cm., auquel l'auteur donne la préférence. Quand on fait passer les fils secondaires DD (distants l'un de l'autre de 2 cm.) dans une auge contenant le liquide (voir figure 2), on peut, si la constante diélectrique de ce liquide n'est pas trop grande, suivre le parcours des ondes à travers le liquide, en constatant qu'un tube de Zehnder placé à la sortie s'illumine.

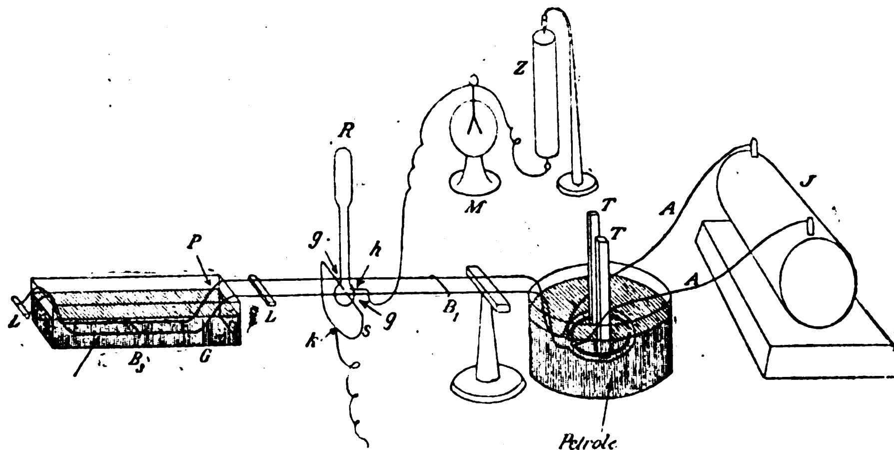


Fig. 2.

Mais avec les liquides tels que l'eau, l'alcool, la glycérine il n'en est pas de même; les ondes ne pénètrent même pas dans ces liquides, et s'il existe un pont B_1 elles ne le franchissent pas. La cause de ce phénomène réside dans le grand pouvoir réflecteur de ces liquides.

Après avoir établi le pont B_1 près de l'excitateur et créé ainsi une oscillation principale, on peut poser encore d'autres étriers B_2, B_3 etc., sur les fils, mais seulement en des points déterminés, aux nœuds de vibration de la force électrique. Les points d'entrée et de sortie des fils du liquide doivent correspondre à des nœuds de vibration.

L'observation directe des ondulations dans l'eau est difficile ; on peut procéder indirectement en examinant les ondulations comprises entre B_1 et l'entrée P des fils dans l'eau, lesquelles ont certains rapports avec les ondes comprises entre le point d'entrée et l'étrier B_2, l'étrier B_2 étant supprimé à l'entrée du liquide. En effet, les ondulations en deçà de l'eau sont toujours troublées par la réflexion au pont B_2, excepté dans le cas où ce pont est placé à un nœud de la force électrique ; et elles sont détruites complètement quand B_2 occupe l'emplacement d'un ventre de vibration. L'écart entre les positions successives de ce genre est égal au quart de la longueur d'onde dans l'eau.

On constate les maxima et les minima à l'aide d'un tube de Zehnder. Pour les rendre encore plus nets et visibles dans tous les points d'une salle, on peut s'arranger de manière qu'un électroscope chargé par une pile sèche, se décharge dans le gaz illuminé. On obtient sous ce rapport le meilleur résultat, en reliant extérieurement entre elles les électrodes d'un tube de Zehnder par un fil de cuivre de 14 cm. de longueur qui se trouve alors en résonance avec l'ondulation principale. La sensibilité est ainsi considérablement accrue.

Tous ces appareils sont rassemblés dans la figure 2. J représente la bobine d'induction (alimentée par 3 accumulateurs et donnant 2,5 cm. d'étincelle dans l'air) reliée aux boules de l'excitateur par les fils AA. Ces boules en laiton bien poli ont 6 mm. de diamètre, les fils de l'excitateur, de 3 mm. de diamètre et 7,5 cm. de longueur embrassent un cercle de 5 cm. de diamètre. La distance laissée entre leurs extrémités opposées aux boules est de 4 mm. Le tout, collé à deux bâtons de cire TT, est plongé dans le pétrole.

Le secondaire, en fil de 1 mm., courbé en cercle de 5,5 de diamètre autour de l'excitateur, se termine en deux fils parallèles de 64 cm. de longueur et distants entre eux de 2 cm. La distance entre le secondaire et l'excitateur est de 1 à 2 mm. Les fils convenablement recourbés, passent dans une auge G, de 18 cm. de longueur, 5 de largeur et 4 cm. de profondeur.

Entre les fils est intercalé un tube de Zehnder R, dont les électrodes *gg* sont reliées entre elles par un fil de cuivre *s* de 1 mm. qui forme avec elles un circuit résonateur de 23 cm. de longueur ; le point *k* de ce résonateur est mis à la terre. Une électrode témoin *h* est reliée à l'électroscope M, chargé par une pile de Zamboni Z dont l'autre pôle est à la terre. A l'ordinaire les feuilles de l'électroscope sont écartées ; mais dès que le tube s'illumine, l'électroscope se décharge et ses feuilles se rapprochent.

Nous n'insisterons pas sur les manipulations à effectuer ; elles résultent de ce que nous venons de dire ; le lecteur que la question intéresse trouvera dans le mémoire original tous les détails les plus minutieux à ce sujet.

L'auteur fait encore remarquer que, grâce à la rapidité des ondulations la conductibilité des liquides étudiés intervient peu. Il donne quelques constantes diélectriques déterminées avec ces appareils :

Eau	K = 76 ± 6
Alcool éthylique. . . .	22,5
Glycérine	26,5
Pétrole	2,0

Enfin, il fait remarquer que l'emploi des tubes de Zehnder comme révélateurs des forces électriques ou magnétiques permet d'atteindre dans la détermination des constantes diélectriques une précision de 2 p. 100, précision qui peut encore être augmentée, en construisant les appareils avec plus de soins que dans ces premières expériences.

A. H.

Sur l'action de l'acide azoteux dans la pile Grove, par M. Ihle (1).

La force électromotrice de l'élément Grove (1,8 volt) est constante jusqu'à un certain degré de dilution de l'acide azotique correspondant à une teneur de 38 p. 100 en $HAzO^3$. Un peu

(1) Communication faite à la Société allemande d'électrochimie.

au-dessous de cette concentration de l'acide, la f. é. m. de la pile tombe rapidement à 0,7 volt, correspondant à la f. é. m. de la pile Smée. Quand la teneur de l'acide est de 27 à 28 p. 100 la pile conserve, même au repos, cette faible valeur de la f. é. m.

On pouvait admettre que cet effet particulier était dû à la présence dans l'acide azotique ou à la formation, d'acide azoteux. C'est ce que l'expérience a confirmé. Lorsqu'au liquide d'une pile chargée d'acide azotique à 28 p. 100 on ajoute une petite quantité d'azotite de potasse, la f. é. m. de l'élément s'élève immédiatement à 1,8 volt. Si l'on fait, au contraire, disparaître l'acide azoteux par l'addition de permanganate de potasse, la f. é. m. retombe à 0,7 volt.

De même qu'on peut faire de l'acide azotique dilué un dépolarisant en y ajoutant de l'acide azoteux, pareillement on peut enlever cette propriété à l'acide concentré en le débarrassant des traces d'acide azoteux qu'il contient.

Il résulte de ces expériences que c'est à la présence de l'acide azoteux que l'acide azotique doit sa propriété dépolarisante, et l'auteur pense que c'est l'action catalytique de l'acide azoteux qui produit ce résultat, puisqu'il suffit de traces pour permettre à l'oxygène de l'acide azotique de se combiner à l'hydrogène dégagé dans la pile. A. H.

Sur un nouveau genre de rayons accompagnant les étincelles et décharges électriques par E. Wiedemann (1).

Nous avons déjà parlé incidemment de ce travail en rendant compte des communications faites à la dernière réunion de la Société allemande d'électrochimie. Voici quelques détails sur ce travail intéressant.

Beaucoup de substances présentent la propriété d'émettre de la lumière lorsqu'elles sont chauffées modérément; mais elles perdent cette propriété après le premier échauffement. On peut la leur restituer en les exposant à la lumière cathodique ou au voisinage d'étincelles électriques, ou encore à des rayons lumineux d'une certaine longueur d'onde. Nous ne nous occuperons ici que de l'excitation par l'étincelle.

On peut se demander si l'étincelle agit par la lumière qu'elle rayonne, ou plutôt par l'action d'un genre particulier de rayons qui peuvent consister en oscillations électriques ou en un mouvement analogue à celui des rayons cathodiques. Sans faire d'hypothèse sur leur nature l'auteur donne à ce genre particulier de rayons le nom de « rayons de décharge ». La présence de mouvements analogues à ceux des rayons cathodiques, est vraisemblable, l'étincelle ainsi que la colonne lumineuse positive d'un tube de décharge présentant des variations de potentiel très rapides.

Pour rechercher si l'étincelle est capable d'exciter en deçà de l'ultra-violet, on a placé entre elle et la substance une lame d'un diélectrique transparent mais absorbant l'ultraviolet. L'expérience a montré que dans ces conditions l'action de l'étincelle est complètement annulée, et qu'elle ne peut donc provenir que de la lumière ultra-violette ou de rayons de décharge.

Une séparation de ces deux dernières causes n'est aisément possible que si l'on peut trouver un corps que les rayons les plus réfrangibles n'excitent que faiblement, tandis que les rayons directs de l'étincelle agissent sur lui.

L'examen des substances à ce point de vue a eu lieu de la manière suivante. La substance, étalée sur une plaque de cuivre était chauffée jusqu'à ce qu'elle eût perdu la propriété d'émettre de la lumière. Elle était ensuite à moitié recouverte d'une lame de quartz de 0,3 mm. d'épaisseur ou d'une lame de spath fluor. Alors, pendant qu'on chauffait la substance dans l'obscurité, on faisait éclater des étincelles à 2-4 cm. de distance. La plupart des substances brillaient sur toute leur surface, recouverte ou non de la lame transparente.

De grandes différences ont été observées avec d'autres substances telles que $CaSO^4 + xMnSO^4$, $CaCO^3 + xMnCO^3$, $NaSO^4 + xMnSO^4$, phosphorite, etc. (x est une petite

(1) *Zeitschrift für Elektrochemie*, n° 8, p. 159, 1895.

fraction). Les parties recouvertes de ces substances restaient obscures, les parties non recouvertes brillaient fortement.

Ces expériences démontrent, que l'étincelle contient un genre particulier de rayons qui ne sont pas transmis par le spath.

Pour rechercher si ces rayons accompagnent aussi les décharges dans les gaz raréfiés, on a introduit les substances dans des tubes de décharge dans lesquels on a fait le vide. Comme précédemment les parties protégées par une lame de spath sont restées obscures, ce qui montre que les rayons de décharge existent aussi dans ces conditions.

Comme l'énergie de ces rayons est certainement très grande, il faut en tenir compte dans l'évaluation du rendement des tubes de décharge pour l'éclairage.

Ces rayons sont un peu absorbés par l'air; on n'a pas encore pu observer de déviation sous l'influence de l'aimant. Leurs autres propriétés seront décrites par l'auteur dans les *Annales*.

Ces observations sont d'autant plus intéressantes qu'elles montrent que dans les expériences les plus approfondies sur certains phénomènes, de nouvelles formes d'énergie peuvent échapper à l'observation tant que le réactif convenable n'est pas trouvé.

A. H.

Les équations de la théorie électromagnétique de la lumière déduites des faits expérimentaux de l'optique cristalline, par Ketteler [1].

Équations différentielles de la théorie électromagnétique. — Multiplions les équations (8) et (12) par $\frac{2\pi}{T}$: elles pourront s'écrire en tenant compte des expressions T (14) de la vibration :

$$(21)\quad \begin{cases} \frac{\partial L}{\partial t} = n_1^2 \frac{\partial X}{\partial t} = \frac{\partial C}{\partial y} - \frac{\partial B}{\partial z}, \\ \frac{\partial M}{\partial t} = n_2^2 \frac{\partial Y}{\partial t} = \frac{\partial A}{\partial z} - \frac{\partial C}{\partial x}, \\ \frac{\partial N}{\partial t} = n_3^2 \frac{\partial Z}{\partial t} = \frac{\partial B}{\partial x} - \frac{\partial A}{\partial y}. \end{cases}$$

$$(22)\quad \begin{cases} \frac{\partial A}{\partial t} = \frac{\partial Y}{\partial z} - \frac{\partial Z}{\partial y}, \\ \frac{\partial B}{\partial t} = \frac{\partial Z}{\partial x} - \frac{\partial X}{\partial z}, \\ \frac{\partial C}{\partial t} = \frac{\partial X}{\partial y} - \frac{\partial Y}{\partial x}. \end{cases}$$

Ces équations sont les équations bien connues de la théorie électromagnétique obtenues suivant une marche très simple par des considérations purement optiques.

Nous allons en faire quelques applications :

a). Différentions les équations (22) par rapport à t et éliminons au moyen des équations (21) les composantes X, Y, Z, nous obtiendrons pour le vecteur de Neumann les équations différentielles :

$$(23a)\quad \begin{cases} \frac{\partial^2 A}{\partial t^2} = \frac{1}{n_3^2}\frac{\partial^2 A}{\partial y^2} + \frac{1}{n_2^2}\frac{\partial^2 A}{\partial z^2} - \frac{\partial}{\partial x}\left(\frac{1}{n_3^2}\frac{\partial B}{\partial y} + \frac{1}{n_2^2}\frac{\partial C}{\partial z}\right), \\ \frac{\partial^2 B}{\partial t^2} = \frac{1}{n_3^2}\frac{\partial^2 B}{\partial x^2} + \frac{1}{n_1^2}\frac{\partial^2 B}{\partial z^2} - \frac{\partial}{\partial y}\left(\frac{1}{n_3^2}\frac{\partial A}{\partial x} + \frac{1}{n_2^2}\frac{\partial C}{\partial z}\right), \\ \frac{\partial^2 C}{\partial t^2} - \frac{1}{n_3^2}\frac{\partial^2 C}{\partial x^2} + \frac{1}{n_1^2}\frac{\partial^2 C}{\partial y^2} - \frac{\partial}{\partial z}\left(\frac{1}{n_1^2}\frac{\partial B}{\partial y} + \frac{1}{n_2^2}\frac{\partial A}{\partial x}\right). \end{cases}$$

avec la condition :

$$(23b)\quad \frac{\partial A}{\partial x} + \frac{\partial B}{\partial y} + \frac{\partial C}{\partial z} = 0,$$

qui n'est qu'une transformation de la dernière des équations (7).

En substituant les expressions (14 *b*) dans les deux premières équations (23) et éliminant W_m au moyen de la relation

$$W_m w = -(V_m u + V_m v),$$

ces équations deviennent :

$$U_m\left[\frac{1}{n_3^2}v^2 + \frac{1}{n_2^2}\left(u^2 + w^2\right) - \frac{1}{n^2}\right] = \left(\frac{1}{n_3^2} - \frac{1}{n_2^2}\right)V_m uv.$$

$$V_m\left[\frac{1}{n_3^2}u^2 + \frac{1}{n_1^2}\left(v^2 + w^2\right) - \frac{1}{n^2}\right] = \left(\frac{1}{n_3^2} - \frac{1}{n_1^2}\right)U_m uv.$$

En les multipliant membre à membre, il vient, après quelques transformations :

$$(24)\quad \frac{n_1^2 u^2}{n^2 - n_1^2} + \frac{n_2^2 v^2}{n^2 - n_2^2} + \frac{n_3^2 w^2}{n^2 - n_3^2} = 0.$$

C'est l'équation bien connue de la surface des vitesses de propagation normale.

Les relations entre U_m, V_m, W_m et u, v, w se présentent sous une forme moins simple : on les obtient par des éliminations entre les

[1] Voir *l'Éclairage Électrique* du 14 sept. 1895, page 519.

équations primitives (23); mais on peut y arriver d'une manière plus simple comme on le verra plus loin.

b). Si on différentie les équations (21) par rapport à t et qu'au moyen des équations (22) on élimine les composantes A, B, C, on obtient pour le vecteur de Fresnel (oscillation de la polarisation diélectrique), ou pour le vecteur de la force électrique, les équations différentielles

$$(25a)\quad \begin{cases} \dfrac{\partial^2 L}{\partial t^2} = n_1^2 \dfrac{\partial^2 X}{\partial t^2} = \Delta_2 X - \dfrac{\partial}{\partial x}\left(\dfrac{\partial X}{\partial x} + \dfrac{\partial Y}{\partial y} + \dfrac{\partial Z}{\partial z}\right). \\ \dfrac{\partial^2 M}{\partial t^2} = n_2^2 \dfrac{\partial^2 Y}{\partial t^2} = \Delta_2 Y - \dfrac{\partial}{\partial y}\left(\dfrac{\partial X}{\partial x} + \dfrac{\partial Y}{\partial y} + \dfrac{\partial Z}{\partial z}\right). \\ \dfrac{\partial^2 N}{\partial t^2} = n_3^2 \dfrac{\partial^2 Z}{\partial t^2} = \Delta_2 Z - \dfrac{\partial}{\partial z}\left(\dfrac{\partial X}{\partial x} + \dfrac{\partial Y}{\partial y} + \dfrac{\partial Z}{\partial z}\right). \end{cases}$$

avec la condition :

$$(25b)\quad \frac{\partial L}{\partial x} + \frac{\partial M}{\partial y} + \frac{\partial N}{\partial z} = n_1^2 \frac{\partial X}{\partial x} + n_2^2 \frac{\partial Y}{\partial y} + n_3^2 \frac{\partial Z}{\partial z} = 0.$$

qui correspond à la seconde des équations (7).

Si on laisse de côté la polarisation et qu'on substitue les expressions (14 *b*) de la vibration, on obtient pour les cosinus directeurs de la force électrique les équations simples

$$(26)\quad \begin{cases} U_e(n^2 - n_1^2) = f_e^n n^2 u \\ V_e(n^2 - n_2^2) = f_e^n n^2 v \\ W_e(n^2 - n_3^2) = f_e^n n^2 w, \end{cases}$$

en posant pour abréger :

$$(26_a)\quad f_e^n = U_e u + V_e v + W_e w.$$

et en y ajoutant la condition :

$$(26_b)\quad n_1^2 U_e u + n_2^2 V_e v + n_3^2 W_e w = 0.$$

Par un calcul bien connu, on tire de ces équations

$$(27)\quad \begin{cases} \dfrac{n_1^2 u^2}{n^2 - n_1^2} + \dfrac{n_2^2 v^2}{n^2 - n_2^2} + \dfrac{n_3^2 w^2}{n^2 - n_3^2} = 0 \\ \dfrac{n^2 u^2}{n^2 - n_1^2} + \dfrac{n^2 v^2}{n^2 - n_2^2} + \dfrac{n^2 w^2}{n^2 - n_3^2} = 0 \end{cases}$$

$$(28)\quad n^2 = \frac{n_1^4 V_e^2 + n_2^4 V_e^2 + n_3^4 W_e^2}{n_1^2 V_e^2 + n_2^2 V_e^2 + n_3^2 W_e^2},$$

$$(29)\quad f_e^n = \frac{1}{\sqrt{\left(\dfrac{n^2 u}{n^2 - n_1^2}\right)^2 + \left(\dfrac{n^2 v}{n^2 - n_2^2}\right)^2 + \left(\dfrac{n^2 w}{n^2 - n_3^2}\right)^2}}.$$

La première des équations (27), qui représente la surface des vitesses de propagation normale, est identique à l'équation (23) de Neumann.

c). Pour trouver les équations de la polarisation diélectrique, on peut dans les équations (25) remplacer X, Y, Z par L, M, N. La première donnera par exemple :

$$\frac{\partial^2 L}{\partial t^2} = \frac{1}{n_1^2} \Delta_2 L - \frac{\partial}{\partial x}\left(\frac{1}{n_1^2}\frac{\partial L}{\partial x} + \frac{1}{n_2^2}\frac{\partial M}{\partial y} + \frac{1}{n_3^2}\frac{\partial N}{\partial z}\right)$$

d'où :

$$(30_a)\quad U_p(n^2 - n_1^2) = f_p n_1^2 u.$$

ou en divisant par $n^2\, n_1^2$,

$$(30)\quad \begin{cases} U_p \left(\dfrac{1}{n_1^2} - \dfrac{1}{n^2}\right) = \dfrac{f_p}{n^2} u \\ V_p \left(\dfrac{1}{n_2^2} - \dfrac{1}{n^2}\right) = \dfrac{f_p}{n^2} v \\ W_p \left(\dfrac{1}{n_3^2} - \dfrac{1}{n^2}\right) = \dfrac{f_p}{n^2} w. \end{cases}$$

où f_p a la valeur suivante :

$$(30\,b)\quad \frac{1}{n^2} f_p = \frac{1}{n_1^2} U_p u + \frac{1}{n_2^2} V_p v + \frac{1}{n_3^2} W_p w.$$

et sous la condition :

$$(30\,c)\quad U_p u + V_p v + W_p w = 0.$$

Nous pouvons encore écrire comme conséquence, les nouvelles lois :

$$(31)\quad \frac{1}{n^2} = \frac{1}{n_1^2} U_p^2 + \frac{1}{n_2^2} V_p^2 + \frac{1}{n_3^2} W_p^2.$$

$$(32)\quad f_p = \frac{1}{\sqrt{\left(\dfrac{n_1^2 u}{n^2 - n_1^2}\right)^2 + \left(\dfrac{n_2^2 v}{n^2 - n_2^2}\right)^2 + \left(\dfrac{n_3^2 w}{n^2 - n_3^2}\right)^2}} = -tg\theta.$$

On peut enfin calculer facilement les cosinus de la vibration de Neumann (vibration magnétique) en fonction de u, v, w, au moyen des équations (12) et de l'équation (9) en écrivant, par exemple, la première des équations (9) sous la forme :

$$U_m = \frac{A}{\sqrt{A^2 + B^2 + C^2}} = \frac{\dfrac{1}{n_2^2} M w - \dfrac{1}{n_3^2} N v}{\sqrt{L^2 + M^2 + N^2}} n^2.$$

$$= \left(\frac{1}{n_2^2} V_p w - \frac{1}{n_3^2} W_p v\right) n^2.$$

En substituant les valeurs tirées de (30), on obtient ainsi :

$$(33)\quad \begin{cases} U_m = f_p n^2 \dfrac{(n_2^2 - n_3^2)\, vw}{(n^2 - n_2^2)(n^2 - n_3^2)} \\ V_m = f_p n^2 \dfrac{(n_3^2 - n_1^2)\, uw}{(n^2 - n_3^2)(n^2 - n_1^2)} \\ W_m = f_p n^2 \dfrac{n_1^2 - n_2^2)\, uv}{(n^2 - n_1^2)(n^2 - n_2^2)} \end{cases}$$

avec la condition :

$$(33b)\qquad U_m u + V_m v + W_m w = 0.$$

Les cosinus de la vibration dépendent du produit de deux cosinus de la normale à l'onde.

En définitive, nous constatons que les ondes de force magnétique, de force électrique et de polarisation diélectrique se propagent avec la même vitesse.

5. *Surface des vitesses suivant le rayon.* — Revenons aux équations (26) qui donnent les valeurs de U_e, V_e, W_e en fonction de u, v, w, n et de f_e^n sous la condition (26). L'expérience nous apprend qu'on peut tout aussi bien considérer ces quantités comme des fonctions de nouvelles variables u_s, v_s, w_s, n_s et f_e^s, en écrivant par exemple la première équation sous la forme :

$$U_e = f_e^n \frac{n_n^2 u_n}{n_n^2 - n_1^2} = f_e^s \frac{n_s^2 u_s}{n_s^2 - n_1^2}$$

en faisant correspondre ces nouvelles variables à la dernière des équations (10). On obtient alors pour le vecteur de la force électrique (ou vecteur de Ketteler) les équations :

$$(34)\quad \begin{cases} U_e\,(n_s^2 - n_1^2) = f_e^s n_s^2 u_s \\ V_e\,(n_s^2 - n_2^2) = f_e^s n_s^2 v_s \\ W_e\,(n_0^2 - n_3^2) = f_e^s n_s^2 w_s \end{cases}$$

avec la condition :

$$(34b)\qquad U_e u_s + V_e v_s + W_e w_s = 0.$$

En comparant ce système au système (30) des équations de Fresnel, on voit qu'on passe de l'un à l'autre en changeant n en $\frac{1}{n}$ ou $\frac{1}{n}$ en n. Au lieu des équations (27), (28), (29), (31), (32) on obtient alors les suivantes :

$$(35)\quad \begin{cases} \dfrac{n_s^2 u_s^2}{n_s^2 - n_1^2} + \dfrac{n_s^2 v_s^2}{n_s^2 - n_2^2} + \dfrac{n_s^2 w_s^2}{n_s^2 - n_3^2} = 0 \\ \dfrac{n_1^2 u_s^2}{n_s^2 - n_1^2} + \dfrac{n_2^2 v_s^2}{n_s^2 - n_2^2} + \dfrac{n_3^2 w_s^2}{n_s^2 - n_3^2} = 1 \end{cases}$$

$$(36)\qquad n_s^2 = n_1^2 U_e^2 + n_2^2 V_e^2 + n_3^2 W_e^2.$$

$$(37)\quad f_e^s = \frac{1}{\sqrt{\left(\dfrac{n_s^2 u_s}{n_s^2 - n_1^2}\right)^2 + \left(\dfrac{n_s^2 v_s)}{n_s^2 - n_1^2}\right)^2 + \left(\dfrac{n_s^2 w_s}{n_s^2 - n_3^2}\right)^2}} = -\operatorname{tg}\theta.$$

Comme on le voit, la relation exprimée ici entre la normale et le rayon est purement analytique et ne s'appuie en aucune façon sur des considérations géométriques. En particulier on ne fait nullement intervenir la notion d'enveloppe, c'est là, comme je l'ai fait remarquer à plusieurs reprises, un progrès qui n'est pas à dédaigner, dans la théorie des milieux absorbants. Cette manière d'envisager la question montre bien d'ailleurs le rapport des deux vitesses.

On remarquera principalement combien peu de calculs compliqués exige la théorie électromagnétique en comparaison des théories anciennes de l'optique cristalline et comme tous les résultats se déduisent de considérations simples. Même les propriétés des ondes magnétiques ont en partie perdu leur caractère énigmatique des débuts. Les cosinus directeurs u_s, v_s, w_s ne peuvent recevoir d'ailleurs une forme simple en fonction de u, v, w. On s'en convaincra facilement en considérant les équations (18), dont la première par exemple peut s'écrire :

$$u_s = \left[V_e\left(\frac{1}{n_1^2}\,U_p v - \frac{1}{n_2^2}\,V_p u\right) - W_e\left(\frac{1}{n_3^2}\,W_p u - \frac{1}{n_1^2}\,U_p w\right)\right] n^2.$$

6. *Conditions aux limites.* — Les équations de condition aux limites, qui règlent le passage d'une radiation d'un milieu anisotrope dans un autre milieu anisotrope, ont été données par moi-même pour la première fois, dans le sens de la théorie électromagnétique. Considérons un système de coordonnées, dont l'axe des Z coïncide avec la normale et le plan des XY avec le plan de séparation des deux

milieux, les équations en question ont la forme :

$$(38a)\quad \begin{cases} X_1 = X_2 \qquad Y_1 = Y_2 \\ \left(\frac{\partial Z}{\partial x} - \frac{\partial X}{\partial z}\right)_1 = \left(\frac{\partial Z}{\partial x} - \frac{\partial X}{\partial z}\right)_2, \\ \left(\frac{\partial Y}{\partial z} - \frac{\partial Z}{\partial y}\right)_1 = \left(\frac{\partial Y}{\partial z} - \frac{\partial Z}{\partial y}\right)_2. \end{cases}$$

Si, d'après les équations (22) on remplace les composantes des couples par les composantes magnétiques il vient plus simplement.

$$X_1 = X_2 \qquad Y_1 = Y_2 \qquad A_1 = A_2 \qquad B_1 = B_2.$$

Les mêmes équations s'appliquent visiblement aux vibrations sur le rayon et aux vibrations sur la normale. Il est à remarquer que les composantes de la polarisation diélectrique ne figurent pas dans ces conditions aux limites. M. L.

BIBLIOGRAPHIE

Elementary lessons in Electricity and Magnetism, par le professeur SILVANUS P. THOMPSON, *Macmillan*, éditeur. Londres.

Il y a quelques semaines, notre sympathique directeur présentait à nos lecteurs la troisième édition du *Traité élémentaire d'Électricité*, de M. Joubert, traité réputé à juste titre en France comme le modèle du genre. Je vais en faire autant aujourd'hui pour un traité analogue qui a eu en Angleterre et en Amérique une très grande vogue comme livre d'enseignement.

La première édition du livre du professeur Silvanus Thompson date de 1881 ; depuis cette époque, les éditions se sont succédé avec rapidité. Je ne produirai pas ici l'ossature du livre tant les phénomènes électriques et magnétiques y sont présentés dans l'ordre admis ordinairement dans tous les traités sérieux. Je dirai seulement que M. Thompson n'a rien entendu négliger, car un chapitre est consacré à un exposé très clair et très élémentaire des ondes et oscillations électriques de la théorie électromagnétique de la lumière et des analogies entre la lumière et l'électricité. Le tout est exposé avec la clarté qu'acquièrent seuls les professeurs après de longues années d'enseignement.

Le livre est terminé par quelques renseignements pratiques et par une série de problèmes et d'exercices fort judicieusement choisis suivant les différents chapitres du livre.

En somme, l'ouvrage du professeur Silvanus Thompson peut, comme celui que je rappelais plus haut, être mis entre les mains des débutants sans crainte de leur donner des idées fausses, et cette nouvelle édition aura un succès aussi grand que ses devancières.

F. GUILBERT.

CHRONIQUE

L'Institution des ingénieurs civils de Londres, vient de publier le programme des sujets de communication qu'elle sollicite de ses membres pendant le cours de cette année. Les suivants sont de nature à intéresser les électriciens.

6. Construction, équipement et exploitation des chemins de fers économiques d'un caractère permanent.

10. Purification des eaux d'égout par les procédés mécaniques, électrolytiques, bactériologiques et chimiques.

13. L'utilisation des ordures ménagères dans les villes pour la production de la vapeur.

14. Purification des grandes quantités d'eau après leur emploi aux usages industriels.

15. Méthodes d'enrichissement du gaz de houille et leur effet, sur ses puissances calorifique et lumineuse.

16. Production et enrichissement du gaz à l'eau.

18. L'utilisation de la chaleur (*a*) engendrée dans la compression de l'air et des autres gaz (*b*) dissipée par le condenseur des machines à vapeur (*c*) contenue dans les gaz d'échappement des chaudières.

19. Méthodes de condensation de la vapeur avec de faibles quantités d'eau.

20. Méthodes de dessèchement de la vapeur et de réduction des pertes par radiation des conduites à vapeur.

21. Production et emploi de la vapeur surchauffée.

22. Théorie et développement de la turbine à vapeur compound.

23. Développements récents des moteurs à gaz et à pétrole, y compris une comparaison des mérites relatifs des différents cycles.

24. Application des moteurs à gaz et à pétrole, à la traction sur route et sur rail, et à la propulsion des navires.

25. Dessin et construction de grandes turbines.

29. Les propriétés magnétiques du fer et de l'acier.

37. Extraction des métaux de leurs minerais par l'électrolyse.

41. L'aluminium, sa fabrication, ses propriétés, ses usages, ses alliages.

45. Le meilleur moteur à vapeur pour les stations centrales électriques.

46. L'utilisation des stations centrales électriques pendant les heures de faible charge.

47. L'utilisation de l'énergie électrique sous forme de chaleur.

48. Régulation de la pression électrique dans des réseaux étendus, par le moteur, la dynamo ou l'excitation.

49. Théorie et pratique de la transmission de l'énergie par les courants alternatifs.

50. L'emploi des moteurs électriques pour la transmission aux machines outils dans les ateliers et dans les filatures.

51. Frais de premier établissement, facilité et économie d'opération de la traction électrique des chemins de fer et des tramways.

52. Construction et exploitation des ascenseurs et des grues électriques.

53. Action électrolytique des courants de retour des tramways électriques, sur les conduites d'eau et de gaz et le meilleur moyen d'éviter ces inconvénients.

65. Emploi des machines électriques pour l'éclairage et la transmission de l'énergie, à bord des vaisseaux de guerre et de commerce.

Association britannique pour l'avancement des sciences. — Cette association s'est réunie, cette année, à Ipswich ; les séances ont commencé le 11 septembre. Parmi les communications inscrites au programme, les suivantes intéressent particulièrement les électriciens.

Désodorisation des eaux d'égout à Ipswich par le procédé Hermitte, par F. Napier.

Notes sur les progrès de la télégraphie par induction, par W.-H. Preece.

Lampes à incandescence, par W.-H. Preece.

Applications modernes de l'électricité à la traction, par Ph. Dawson.

L'accumulateur au chlorure de plomb, par W.-H. Earle.

Extension et développement du téléphone dans les districts agricoles, par le major. Gen. Webber.

Téléphonie, par A.-R. Bennett.

L'emploi du télégraphe dans la campagne de Chitral. par P.-V. Luke.

Nouveau photomètre portatif, par W.-H. Preece et A.-P. Trotter.

Lampes à incandescence par le gaz, par C. Cooke.

Le Congrès international des chemins de fer, à Londres, tenu à la fin de juin et au commencement de juillet, a donné lieu à quelques communications relatives à l'électricité. La plus importante est celle de M. Auvert, ingénieur de la Cie P.-L.-M., sur la traction électrique ; le conférencier s'est attaché à démontrer les grandes différences qui séparent la traction des tramways de celle des trains de chemins de fer. La longueur des voies de chemins de fer étant généralement très grande, le prix d'établissement des conducteurs serait excessif, car on ne pourrait songer à recourir à de très hautes tensions en raison des dangers qui en résulteraient. Les voitures automobiles ne pourraient être que l'exception et, par conséquent, l'emploi des locomotives serait essentiel. Le problème à résoudre réside donc dans la construction des locomotives électriques.

Parties de campagne en tramway électrique. — Les habitants de Philadelphie ont pris l'habitude de faire des excursions en tramways électriques. Un certain nombre d'amis ou une société, un club, louent une voiture pour la soirée et se font conduire au lieu de promenade choisi. La voiture est illuminée par un grand nombre de lampes, ornée de lanternes vénitiennes et de drapeaux ; des bandes de musiciens, des clowns, distraient les voyageurs et les passants. Quelquefois les voyageurs sont déguisés. La voiture prend les voyageurs au lieu de rendez-vous et les ramène ;

le tout pour 50 francs par soirée ; chaque voyageur n'a donc que fort peu de chose à payer; aussi ces parties de campagne font-elles fureur.

La chasse à la lumière électrique. — Les Anglais, raconte le *Journal des Débats*, se sont mis, aux Indes, à chasser le tigre à la lumière électrique :

Le chasseur se poste dans la jungle et dispose à ses pieds un appât qui doit attirer les fauves. Il suspend à une branche une petite lampe électrique actionnée par une batterie de six éléments. Cette batterie se trouve aussi en communication avec la crosse de la carabine.

Grâce à une légère pression du pouce gauche, on peut provoquer la lumière à volonté. Dès qu'un tigre se présente on établit le contact. La lumière jaillit et le fauve, effrayé, hésite pendant quelques instants. Au chasseur de saisir ce moment pour foudroyer l'animal.

Le seul inconvénient de ce procédé, c'est la lourdeur des batteries électriques employées jusqu'ici. On va maintenant les remplacer par un appareil spécial et de dimensions restreintes que le chasseur pourra porter dans sa ceinture.

Tramway électrique de Milan à Musocco. — Une nouvelle ligne de tramways électriques vient d'être mise en service de Milan au nouveau cimetière, à Musocco. Cette ligne, établie par la Compagnie Thomson-Houston, a une longueur de 5 200 m. et emprunte une voie nouvelle de 3 500 m. en ligne droite, en traversant les villages de la Tagnola, la Pabbia, la Certosa di Careguano et Musocco. La crémation, par suite de l'encombrement de l'ancien cimetière, et aussi pour des raisons d'hygiène, devant être faite loin de la ville, le cimetière de Musocco a été choisi dans ce but, mais il a fallu établir une large voie de communication entre les deux nécropoles. La Compagnie des tramways de Milan a obtenu d'établir un tramway, sous la réserve de fournir des fourgons convenablement appropriés au transport des morts. A cet effet, les trains comportent trois voitures, dont l'une est un char funéraire peint entièrement en noir, avec l'inscription « Service funèbre », les deux autres, destinées aux parents et amis du défunt, sont pourvues de banquettes comme les voitures ordinaires de tramways, mais sont peintes en noir et bleu et portent les armes de la ville de Milan. Enfin deux voitures ordinaires seront mises en service, dès que la ligne aura été prolongée jusqu'à Affori, distant de 5 km.

Les voitures automobiles sont au nombre de cinq et pèsent 6 200 kg. chacune ; elles sont munies d'un seul moteur de 25 chevaux; les voitures remorquées pour voyageurs sont au nombre de trois et pèsent 2 600 kg. ; enfin, quatre chars funèbres de 5 200 kg. complètent actuellement le matériel roulant.

La voie est à l'écartement de 1,44 m. ; de Milan à Musocco, elle est en palier, sauf une longueur de 600 m., à peu de distance de la station génératrice où la rampe atteint 2,5 p. 100. La voie est simple et comporte neuf garages; elle est établie en rails Vignole sur un des côtés de la route. Le fil aérien est suspendu par des poteaux-console.

La station génératrice est située à Musocco. La chaufferie comporte deux chaudières Galloway à deux fourneaux Fox et deux réchauffeurs. La surface de chauffe est de 80 m². par réchauffeur. La longueur des chaudières est de 8,50 m. leur diamètre de 2,70 m. et elles sont timbrées à 12 kg. par centimètre carré.

Les machines à vapeur sont du type compound tandem à condensation, système Tosi, d'une puissance normale de 150 chevaux à la vitesse angulaire de 80 tours par minute. Elles sont munies d'un volant de 5 m. de diamètre pesant 11 tonnes. Ces machines commandent directement par courroie deux dynamos compound Thomson-Houston tétrapolaires de 100 kilowatts.

Les fondations des machines à vapeur et des dynamos sont constituées par un seul bloc de béton.

Enfin, deux ponts roulants d'une force de trois tonnes ont servi à l'installation des machines.

Mesure de l'éclat stellaire. — Le professeur Minchin a réussi à construire une pile photo-électrique au sélénium suffisamment sensible pour lui permettre de mesurer l'intensité de la lumière qui nous est envoyée par les différentes étoiles. Il a fait ces mesures pour Jupiter, Saturne, Véga, etc. La lumière de Véga, concentrée à l'aide d'un réflecteur de 60 cm. a donné une déviation aussi grande qu'une bougie placée à 3 m.

Les différentes grandeurs des étoiles résultant de ces mesures se trouvent être dans l'ordre

établi astronomiquement. Quand on connaît la distance d'une étoile, on peut déterminer la quantité d'énergie qu'elle rayonne dans l'espace. Le carré de la f. é. m. de la pile est proportionnel à l'énergie incidente.

Télégraphie à grande distance. — Le 26 mai dernier, on a essayé, en Australie avec plein succès, de transmettre télégraphiquement sur une ligne de 7 246 milles, soit environ 11 650 km. On a obtenu cette longueur énorme, en reliant entre elles toutes les lignes qui suivent les côtes et qui font presque le tour complet du continent australien. Les stations terminus étaient Derby et Cape York, les stations intermédiaires à partir de Derby : Rœburne, Hameline Pool, Perth, Albany, Israëlite Bay, Eucla, Port Lincoln, Adelaïde, Melbourne, Sidney, Brisbane, Rockhampton, Bowen et Junction Creek.

14 translateurs étaient intercalés sur cette ligne, et la vitesse de transmission avec des appareils Morse a été de onze mots à la minute.

Chemin de fer électrique de Nantasket-Beach. — Un événement, qu'il est utile de ne pas laisser passer inaperçu, c'est l'inauguration de la première ligne de chemin de fer à traction électrique sur l'Old Colony Railroad, Nantasket-Beach, Etats-Unis.

Depuis longtemps on étudie le projet de relier New-York et Boston par une ligne électrique. La ligne qui vient d'être inaugurée, et qui montre la praticabilité de cette idée, a 8 km. de longueur et comporte de nombreuses courbes et des rampes assez fortes. On ne compte pas moins de 20 courbes, tandis que la rampe la plus considérable est de 0,57 p. 100.

La ligne est à double voie, et correspond, comme solidité de construction, à la meilleure ligne à vapeur. Les rails pèsent 40 kg. au mètre. Les poteaux, de 9 m. de hauteur, qui supportent les conducteurs d'alimentation sont établis entre les deux voies, par intervalles de 18 à 27 mètres.

Les wagons automobiles munis de 2 à 4 moteurs électriques de la General Electric Co, pèsent 27 tonnes et exercent une traction de 1800 à 3600 kg. Chaque moteur est pourvu d'un contrôleur du type General Electric et d'un frein Westinghouse à air comprimé.

La station génératrice se trouve environ à mi-chemin entre Nantasket Junction et le point terminus. Elle comporte deux génératrices de 1500 chevaux chacune, actionnées directement par deux moteurs tandem compound, système Green-Corliss. Le volant de chaque machine à vapeur a 5,5 m. de diamètre et un poids de 29 tonnes. Les 4 chaudières, à 140 tubes de 75 mm. de diamètre et de 5,8 m. de longueur ont une puissance de 2800 chevaux. Le courant est produit sous une tension de 700 volts.

Cette ligne, d'un trafic très actif, sert au transport des voyageurs, ainsi que de lourds trains de marchandises. Avant sa mise en service régulier, au 30 juin dernier, on avait fait un certain nombre de voyages d'essai. Dans l'un de ces essais on a atteint sans difficulté la jolie vitesse de 130 km. à l'heure. Dans un autre essai, la locomotive électrique a traîné facilement, à la vitesse de 40 km. à l'heure, un train de marchandises composé de 16 wagons ayant une charge de 450 à 500 tonnes. Dans ces deux cas, on n'avait pas atteint la limite de ce que les moteurs pouvaient donner.

Un grand nombre de notoriétés ont assisté à l'inauguration de cette ligne, et il n'est pas douteux, si en service courant le matériel électrique répond aux espérances qu'on peut fonder sur les premiers essais, que d'autres lignes de chemins de fer... américains adopteront la traction par les moteurs électriques.

Le chemin de fer électrique de Mount Holly à Burlington. — La Compagnie des chemins de fer de Pennsylvanie vient d'équiper électriquement une partie de ses voies, entre Mount Holly et Burlington, sur une distance de 13 km. environ. La construction rappelle entièrement celle des tramways électriques ordinaires, à fil aérien. Les conducteurs sont soutenus par des fils transversaux attachés sur le côté des voies à des poteaux solidement fixés dans le sol. Le sommet de ces poteaux au-dessus des rails est de 7,60 m. (25 pieds) ; le fil à trôlet est de 6,70 m. au-dessus des rails ; il a 9,25 mm. de diamètre. Pour la mise en place de cette ligne, on a utilisé la locomotive à vapeur.

La station génératrice est située au terminus de Mount Holly ; elle comprend une dynamo Westinghouse, attelée directement à un moteur compound, et une chaudière d'une capacité de 300 chevaux.

Il y a trois voitures motrices d'une puissance

suffisante pour remorquer des wagons ordinaires, à la vitesse de 72 à 96 km. à l'heure. Les roues motrices ont 91,4 cm. de diamètre; les essieux et les autres parties du truck sont disposés pour recevoir des moteurs Westinghouse de 75 chevaux de puissance chacun; il y aura deux de ces moteurs par voiture; la première voiture construite a été équipée avec 4 moteurs de 50 chevaux chacun.

Les voitures sont éclairées et chauffées électriquement, et un moteur électrique fournit l'air comprimé nécessaire pour actionner les freins.

Une unité de son. — M. Hiram Maxim sollicite, dans un ordre d'idée très pratique, une unité de son qui, au milieu des nombreuses unités physiques créées dans ces vingt dernières années, fait absolument défaut et qui, acceptée en Angleterre par la Royal Society et le Board of Trade, en attendant qu'elle soit encore plus officiellement consacrée, puisse servir de règle aux Tribunaux et aider à résoudre bien des contestations délicates.

Tous ceux qui, à un titre quelconque, ont une installation électrique, sont sans cesse exposés à des plaintes formulées contre le bruit qui leur est attribué. Tantôt on accuse leurs machines de déterminer des vibrations dans les bâtiments ou locaux voisins, tantôt on leur reproche de troubler les communications téléphoniques. Les industriels sont constamment recherchés pour le bruit dont ils sont la cause indirecte, alors qu'en réalité ce bruit est à peine appréciable aux plaignants. En maintes circonstances, quand des ingénieurs-électriciens ou des agents de stations électriques visitent les maisons d'où partent ces doléances, ils se trouvent en présence de gens qui jurent leurs grands dieux et offrent de prouver par de nombreux témoignages que le bruit et les trépidations auxquels on les condamne sont de nature à les rendre fous, alors qu'en fait, ce trouble est uniquement dû à la circulation ordinaire dans la rue, et que précisément, au moment où ils se posent en victimes d'une installation électrique, celle-ci ne fonctionne pas. Il arrive fréquemment que des usines électriques ou autres sont sommées de restreindre leur exploitation alors que le bruit qui leur est attribué est inférieur à celui causé par le passage d'une voiture dans la rue.

En vue de la réalisation de son idée, M. Maxim suggère comme début l'emploi d'un phonographe dont les indications seraient enregistrées sur un verre enfumé pour être ensuite amplifiées à l'aide d'une lanterne magique. L'amplitude et la fréquence des ondes ainsi obtenues donneraient l'intensité du son produit. Si l'on suppose, par exemple, qu'on enregistre le bruit de la circulation courante d'une rue, puis ce bruit augmenté de celui qui motive des plaintes, les deux images montées côte à côte et projetées sur un écran permettront d'apprécier d'un coup d'œil l'augmentation de bruit causée par l'installation incriminée et le plus ou moins bien fondé de la plainte; on pourra comparer de même le bruit dû à une usine et celui fait par une bande quelconque d'individus ou tout autre bruit désagréable toléré par la loi à une certaine distance.

Comme étalon de bruit susceptible d'édifier la justice, M. Maxim propose celui d'une certaine masse déterminée qu'on laisserait tomber de la hauteur d'un mètre, par exemple, sur un diaphragme étalon et dont les ondes sonores seraient enregistrées à une certaine distance, soit cinq mètres, du diaphragme. On pourrait ainsi produire en justice la projection de ce bruit artificiel sur un écran, en même temps qu'une autre représentant l'objet du litige.

En ce qui concerne les téléphones, on pourrait comparer l'image des vibrations correspondant à la marche des machines et celle afférente à leur état de repos.

Ces comparaisons fourniraient au Tribunal une base exacte d'appréciation.

Il serait aussi désirable qu'on pût imaginer un moyen de contrôle des trépidations relatives, sources de tant de difficultés et sur lesquelles les mouvements de la cuve à mercure ne fournissent que des renseignements aussi permanents qu'absolus.

L'homme considéré comme machine par un électricien. — Si l'on regarde le cœur humain comme une pompe, on peut démontrer qu'il développe en 24 heures un travail de 38 316 kgm.; d'autre part, le travail effectué par les muscles dans la respiration s'élève dans le même temps à 6 490 kgm. environ. Si ces chiffres, donnés par un contemporain sont exacts, il en ressort quelques déductions qui, pour si peu pratiques qu'elles soient, n'en sont pas moins intéressantes. Nous les empruntons à l'*Electrical World*.

La puissance correspondant au fonctionnement

du cœur équivaut, d'après ce qui précède, à 3,89 watts, et celle afférente à la respiration, à 0,66 watt, soit un total de 3,55 watts. Cette puissance développerait une intensité lumineuse de 2 bougies environ dans une lampe à incandescence. En conséquence, un homme développe constamment, nuit et jour, une puissance destinée à l'entretien de la vie, équivalant à celle nécessaire à l'alimentation continue d'une lampe à incandescence de 2 bougies. Si l'on admet 5 p. 100 comme rendement (ou plutôt comme absence de rendement) lumineux de la lampe à incandescence, cette puissance, convertie en lumière froide, représenterait 40 bougies qui feraient de chacun de nous, d'une façon ou d'une autre, un foyer brillant, fournissant toute la lumière nécessaire à nous faire vivre sans lumière artificielle. En d'autres termes, si l'homme possédait un organe quelconque analogue à celui de la mouche phosphorescente, il pourrait, en développant une puissance égale à celle exigée par le fonctionnement du cœur et des poumons, s'envelopper d'un flux lumineux.

La puissance de l'homme étant généralement estimée à un huitième de cheval, soit à 92 watts, son rendement, « à pleine charge », serait, à ne considérer que les pertes intérieures, de 95 p. 100 environ, chiffre remarquable, surtout si l'on considère qu'il remonte à quelques milliers d'années et a dû dégénérer depuis. Mais ce calcul ne fait pas entrer en ligne de compte la puissance plus élevée que doivent développer le cœur et les poumons quand on effectue un travail extérieur; de sorte que cet excellent résultat est plus apparent que réel. Comme on ne connait pas d'ailleurs le nombre de kilogrammètres équivalent à la nourriture absorbée par l'homme, ni la quantité qu'il en consomme, on ne peut guère tirer d'autre parti de ces chiffres inutiles. Il est néanmoins intéressant de constater, à ce propos, avec le professeur Thurston, que l'homme est une machine à très bon rendement, ce qui signifie probablement qu'il est un bon transformateur d'énergie alimentaire en énergie mécanique.

Transmission de l'heure par l'électricité. — *Engineering* nous apprend que la *Synchronome Company*, de Birkenhead, vient de lancer un nouveau modèle de pendules électriques. Une horloge directrice est disposée dans un local approprié ; son mouvement est entretenu par un échappement commandé par un électro-aimant; le courant nécessaire est fourni par une pile sèche. Des fils partent de cette pendule à une série d'un nombre quelconque de cadrans dont les aiguilles sont mues électriquement. La pendule directrice serait d'une perfection telle que, sans exiger aucune attention, elle ne varierait pas de plus d'une seconde par mois. Il suffit d'un élément de pile sèche pour deux cadrans récepteurs.

Emploi de l'ozone comme désinfectant.—Le bureau de la santé publique et de l'hygiène, de la ville de Philadelphie (États-Unis) a résolu d'installer une usine électrique pour la fabrication de l'eau ozonisée d'après les procédés de M. A.-E. Woolf. L'usine, qui aura une capacité de 4500 litres environ à l'heure, sera placée dans les sous-sols de l'hôtel de ville. L'eau ozonisée sera employée pour l'arrosage des rues et pour la désinfection en général.

Les tramways électriques de Budapest. — Le directeur de la Compagnie des tramways électriques de Budapest et M. Carl Zipernowsky, directeur des services électriques de la maison Ganz et Cie, ont demandé au ministre du commerce hongrois et aux autorités municipales de Budapest l'autorisation de construire un réseau de tramways électriques dans cette ville.

Erratum.

Dans le *Règlement municipal concernant les installations électriques intérieures* que nous avons reproduit dans notre avant-dernière chronique, s'est glissé une erreur que nous nous empressons de réparer.

Dans l'article 16 (p. 480), il faut lire :

...la résistance d'isolement..., exprimée en ohms ne devra jamais descendre au-dessous de **5 E²**, E étant la différence de potentiel en volts mesurée aux bornes extrêmes des appareils générateurs ou transformateurs des courants.

L'Éditeur-Gérant : GEORGES CARRÉ.

Paris. — Imprimerie L. MARETHEUX, 1, rue Cassette.

Tome IV. Samedi 28 Septembre 1895. 2e Année. — N° 39.

L'Éclairage Électrique

REVUE HEBDOMADAIRE D'ÉLECTRICITÉ

DIRECTEUR SCIENTIFIQUE : J. BLONDIN

SECRÉTAIRE DE LA RÉDACTION : G. PELLISSIER

ÉLECTROCHIMIE (1)

DEUXIÈME LEÇON

TRANSPORT DES IONS

Considérons l'électrolyse d'un sel quelconque, par exemple du chlorure du cuivre, entre des électrodes inattaquables : nous savons que du chlore apparaît d'un côté, que du cuivre se dépose de l'autre ; il résulte évidemment de là que la concentration de la liqueur diminue peu à peu : la loi de Faraday nous donne facilement la perte *totale* de concentration que produit le passage, dans l'appareil à électrolyse, d'une quantité déterminée d'électricité, mais elle ne nous apprend rien sur la manière dont se répartit cette perte de concentration dans les différentes régions de l'appareil ; c'est ce point que nous allons examiner maintenant.

Tout d'abord, l'expérience montre immédiatement que cette perte de concentration ne se fait pas uniformément : il suffit en effet d'électrolyser du sulfate de cuivre dans un tube en U pour s'apercevoir que la coloration bleue diminue inégalement des deux côtés. La question, dès lors devient fort délicate, car cette hétérogénéité de concentration entraîne évidemment des phénomènes de diffusion qui tendront à troubler l'action propre du courant : mais si nous disposons l'appareil de manière à avoir au moins une couche invariable, et que nous fassions l'analyse de part et d'autre de cette couche, nous n'aurons plus à nous occuper de la diffusion. Par symétrie, nous pourrions croire que la perte de concentration est la même des deux côtés ; nous venons de voir que, en réalité, il n'en est rien. Nous sommes là en présence d'un phénomène nouveau qu'il faut étudier avec soin. Pour bien faire comprendre comment il convient d'aborder la question, nous citerons les nombres obtenus dans une expérience réellement faite. Électrolysons du sulfate de cuivre dans un vase à deux compartiments ; et dans le compartiment négatif mesurons :

1° Le poids de cuivre déposé ;
2° La perte en cuivre de la dissolution.
Nous trouvons ainsi :
Poids déposé : 0,1131 gramme.
Perte de cuivre : 0,0721 gramme.

Puisque le dépôt est plus grand que la perte, il faut qu'un certain poids de cuivre ait été amené par le courant, transporté dans le sens du courant; ce poids est évidemment la différence des deux précédents, c'est-à-dire 0,0410 gramme. Le rapport du cuivre transporté au cuivre déposé sera évidemment constant dans une expérience donnée faite avec un courant constant, quelle que soit la durée de l'expérience : ce nombre s'appelle nombre de transport ou nombre d'Hittorf, du nom de l'expérimentateur qui s'est occupé le premier

(1) Conférences faites à l'École d'application du Laboratoire central d'Électricité, les 24 et 27 juin, 1er et 4 juillet 1895.

de cette question ; dans l'expérience précédente, le nombre de transport du cuivre est $\frac{0,0410}{0,1131} = 0,362$.

Si l'on connaît le nombre de transport de l'un des ions constitutifs d'un électrolyte, l'autre s'en déduit immédiatement. Reprenons, en effet, l'expérience précédente, et appelons a le poids de l'ion SO^4 uni à l'unité de poids de l'ion Cu dans le sulfate de cuivre ; pendant qu'il se dépose 0,1131 gr. de cuivre sur la cathode, il se dépose $0,1131 \times a$ gr. de SO^4 sur l'anode. Le cuivre transporté par le courant (0,041 gr.) a laissé libre près de l'anode $0,041 \times a$ gramme de SO^4 comme il s'en dépose $0,1131 \times a$, il faut que le courant en ait amené (dans le sens négatif, bien entendu) $0,1131 \times a - 0,041 \times a = 0,0721 \times a$. Le nombre de transport relatif à l'ion SO^4 est donc : $\frac{0,0721 \times a}{0,1131 \times a} = 0,638$.

Si nous ajoutons les nombres de transport relatifs à l'ion Cu et à l'ion SO^4, nous avons :

$$\frac{0,0410}{0,1131} + \frac{0,0721 \times a}{0,1131 \times a} = 1.$$

Nous arrivons donc au théorème suivant :

La somme des nombres de transport relatifs aux deux ions d'un électrolyte quelconque est égale à l'unité.

Par conséquent, l'un de ces deux nombres étant connu, l'autre s'en déduit immédiatement.

Voici les nombres de transport relatifs à quelques sels :

Sels	S	Nombres de transport. n	
$AgAzO^3$	123	0,4457	(Ag)
$AgC^2H^3O^2$	126,7	0,6266	id.
KCl	arbitraire	0,515	(Cl)
NaCl	3,472	0,648	id.
	320,33	0,617	id.
	etc., etc.		

Dans ce tableau, n représente le nombre de transport et S le poids d'eau dans lequel est dissous l'unité de poids de sel.

L'expérience montre que, pour un électrolyte donné, ces nombres sont indépendants de l'intensité du courant et de la température, mais ils dépendent de la concentration, peu pour les métaux univalents, beaucoup pour les autres.

Les considérations qui précèdent nous amènent de la manière la plus nette à la notion d'un *déplacement* des ions, déplacement qui a lieu dans le sens du courant pour l'ion électro-positif, en sens inverse pour l'ion électro-négatif.

Si maintenant nous rapprochons les trois faits suivants :

1° L'eau chimiquement pure n'est pas conductrice ;

2° Elle devient conductrice par l'addition d'un électrolyte formé de deux ions ;

3° Pendant l'électrolyse ces ions se déplacent et viennent vers les deux électrodes ; nous sommes amenés logiquement à admettre que, dans l'électrolyse, ce sont les ions qui transportent avec eux l'électricité par un véritable phénomène de convection, et non plus de conduction : le dissolvant doit alors être considéré comme un simple milieu inerte, non conducteur, dans lequel flottent les ions, et ces ions seuls prennent part au transport de l'électricité ; ainsi nous trouvons pour la première fois une raison physique à la distinction entre la conductibilité métallique et la conductibilité électrolytique, distinction que nous avons établie dans la dernière leçon.

Dans cette hypothèse, l'ion-électro-positif est chargé d'électricité positive et entraîné dans le sens du courant par la force électrique qui agit sur lui.

De même, l'ion électro-négatif est chargé d'électricité négative et entraîné en sens inverse du courant.

Ces mouvements, quoique produits par une force constante [1], sont uniformes, à cause des frottements qui s'exercent entre les ions et les molécules du dissolvant. Entre les électrodes, les ions se rencontrant successivement donne-

[1] La force électrique est constante si nous nous plaçons dans le cas simple d'une colonne cylindrique homogène dans laquelle le potentiel varie linéairement avec la longueur.

ront lieu à une série de combinaisons et de décompositions successives, de sorte que les ions libres (ou leurs combinaisons) n'apparaissent que sur les électrodes.

Les nombres de transport s'interprètent alors facilement : soit u la vitesse des ions électro-positifs, v celle des ions électro-négatifs. Considérons, entre deux électrodes A et B une file de N molécules de longueur l : la distance de deux molécules est $\frac{l}{N}$; le temps qui s'écoule entre deux arrivées successives d'un ion sur la cathode A est $\frac{l}{Nu}$ et le nombre d'ions qui arrive par seconde est $\frac{Nu}{l}$; si p est le poids d'un ion, le poids apporté par seconde est

$$\frac{Nup}{l}.$$

En même temps $\frac{Nv}{l}$ anions s'en vont laissant libres $\frac{Nv}{l}$ cathions, c'est-à-dire un poids

$$\frac{Nvp}{l}.$$

Le poids total déposé est donc :

$$\frac{N(u+v)p}{l}$$

et le nombre de transport du cathion (rapport du poids apporté au poids déposé) est

$$n = \frac{\frac{Nvp}{l}}{\frac{N(u+v)p}{l}} = \frac{u}{u+v}.$$

Ainsi les nombres de transport sont respectivement proportionnels aux vitesses de deux ions ; et leur somme est égale à l'unité comme nous l'avions établi plus haut indépendamment de toute considération théorique.

On voit quelle simplification la théorie du déplacement des ions apporte dans l'étude de l'électrolyse ; nous en trouverons un nouvel exemple dans l'étude de la conductibilité des dissolutions électrolytiques que nous allons aborder maintenant.

CONDUCTIBILITÉ DES ÉLECTROLYTES

La conductibilité métallique d'un métal n'a aucune relation connue avec les propriétés chimiques de ce métal ; au contraire la conductibilité électrolytique d'un électrolyte a des relations très étroites avec la constitution chimique de cet électrolyte : cette divergence est encore une preuve de la différence profonde des mécanismes suivant lesquels est transportée l'électricité dans les deux classes de corps.

Nous avons vu plus haut que dans les électrolytes, le transport de l'électricité est un véritable phénomène de convection et non pas de conduction : chaque ion transporte avec lui une certaine quantité d'électricité. Nous pouvons alors imaginer que le mouvement de cet ion est dû à la force électrique qui agit sur lui, et qui provient de la différence de potentiel établie entre les deux électrodes. Cette force étant constante si, comme nous pouvons le supposer, le champ est uniforme, le mouvement pris par l'ion devrait être uniformément accéléré ; en réalité, il ne l'est pas, à cause du frottement qui s'exerce entre l'ion et l'électrolyte au sein duquel il se déplace : il est donc uniforme et il est clair que pour une force donnée, c'est-à-dire pour une différence de potentiel donnée répartie sur une longueur donnée, l'ion se déplacera d'autant plus lentement que son coefficient de frottement sera plus considérable : il transportera donc dans le même temps moins d'électricité, le courant sera plus faible, ce que nous exprimerons en disant que l'électrolyte est plus résistant. Dans cette manière de voir, la résistance électrique d'un électrolyte dépendra donc uniquement du coefficient de frottement de ses ions. Si l'électrolyte est très étendu, les ions, en se déplaçant, ne rencontreront guère que des molécules d'eau pure ; le phénomène deviendra alors particulièrement simple puisqu'on n'aura affaire qu'au frottement des ions sur l'eau pure. On voit par ces considérations générales que la question de la conductibilité des électrolytes touche de très près celle de déplacements des ions, et par suite

celle de l'électrolyse. Il importe donc d'en dire ici quelques mots.

Nous indiquerons d'abord rapidement les méthodes de mesures employées.

La mesure de la résistance des liquides conducteurs électrolytes présente des difficultés spéciales dues aux phénomènes de polarisation sur lesquels nous reviendrons plus loin. Aussi a-t-on dû employer pour cette mesure des méthodes détournées moins précises en général que les méthodes ordinaires; de plus ces résistances varient beaucoup avec la température : elles diminuent lorsque la température s'élève, alors que c'est l'inverse pour les métaux : le coefficient de variation est assez considérable (environ 0,033 pour les dissolutions étendues de KCl) : il importe donc de prendre des précautions spéciales contre les variations de température, ce qui n'a pas toujours été fait; à cause de toutes ces raisons, les résistances spécifiques des liquides ne sont pas des données de haute précision.

Les deux méthodes les plus généralement employées sont : 1° la méthode électrométrique; 2° la méthode des courants alternatifs. La première est surtout usitée en France, la seconde en Allemagne.

Sans discuter ici ces deux méthodes, ce qui sortirait du cadre de ces leçons, nous indiquerons seulement leurs principes.

I. La méthode électrométrique consiste à comparer la différence de potentiel aux extrémités d'un tube rempli du liquide à étudier à la différence de potentiel aux extrémités d'un tube rempli d'un liquide connu, ces tubes étant disposés en série sur le même courant.

Pour prendre ces différences de potentiel on se sert d'électrodes parasites, et pour éviter la faible polarisation de ces électrodes pendant les essais à l'électromètre, on les forme de zinc plongé dans du sulfate de zinc (1).

Cette méthode, entre les mains d'un expérimentateur habile, donne d'excellents résultats; les points les plus délicats sur lesquels il faut porter son attention sont les suivants :

1° Il importe de vérifier que, par suite de la diffusion, le sulfate de zinc ne peut pas atteindre, même en très faible proportion, les tubes qui contiennent le liquide en expérience.

2° Il faut s'assurer que les vases poreux ne présentent pas de résistance appréciable au passage du courant.

3° Enfin, nous savons que par suite du transport des ions, la composition du liquide tend à devenir hétérogène : il faut donc avoir soin de ne faire passer le courant que juste le temps nécessaire aux mesures, et de vérifier de temps en temps la composition des liquides employés.

II. La méthode des courants alternatifs consiste à placer l'électrolyte dont on veut mesurer la résistance dans un bras d'un pont de Wheatstone ordinaire, dont on remplace le galvanomètre par un électro-dynamomètre ou mieux un téléphone, et à remplacer le courant continu ordinairement employé par un courant alternatif. On admet que l'erreur due à la polarisation est évitée par le passage alternatif du courant dans les deux sens.

Cette méthode est sujette à un certain nombre d'objections que ne comporte pas la méthode électrométrique. Ces objections peuvent être de deux sortes : les unes tiennent à la méthode même, les autres à la manière dont on l'applique.

1° Le principe de la méthode n'est pas absolument évident en lui-même; il faudrait, pour le discuter complètement, faire le calcul du courant dans la branche qui contient l'électrolyte, en tenant compte de la valeur de la force électromotrice de polarisation en fonction de l'intensité et de la capacité de polarisation.

2° Si l'on applique la méthode sans précaution, on n'arrive jamais au silence absolu du téléphone en se servant des boîtes de résistance ordinaire : cela est dû à la faible self-induction, et surtout à la capacité des bobines qui composent ces boîtes. On évite complète-

(1) Pour la description détaillée de la méthode électrométrique, voir *Ann. de chim. et de phys.*, 6e série, t. III, p. 439.

ment ces inconvénients secondaires soit en employant un mode d'enroulement convenable pour les bobines [1], soit en supprimant tout emploi de bobine par un pont à fil divisé suffisamment fin.

Examinons maintenant les principaux résultats qui ont été obtenus.

Nous observons en premier lieu que la conductibilité spécifique d'une dissolution diminue en même temps que la concentration, mais sans lui être proportionnelle. Désignons par m le nombre de molécules (en grammes) dissoutes dans un litre de la dissolution [2]. Si m tend vers zéro, c'est-à-dire si on considère des liqueurs de plus en plus étendues, la conductibilité c tend vers zéro, puisque nous avons vu que la conductibilité de l'eau pure est nulle. Mais considérons le rapport $\lambda = \frac{c}{m}$. L'expérience montre que ce rapport tend vers une limite finie λ_1.

$$\lambda_1 = \lim. \lambda = \lim. \frac{c}{m}.$$

La quantité $\frac{c}{m}$ s'appelle la *conductibilité moléculaire* de la dissolution ; il est évident que sa valeur limite caractérise le corps dissous.

Si la conductibilité variait proportionnellement à la concentration, le rapport $\frac{c}{m}$ serait constant. En réalité il ne l'est pas ; pour tous les sels il diminue lorsque la concentration augmente ; nous pouvons exprimer ce fait en écrivant :

$$\frac{c}{m} = \lambda_1 - f(m).$$

$f(m)$ étant une fonction positive qui tend vers zéro avec m.

L'expérience concorde bien [1] avec une expression de la forme :

$$\frac{c}{m} = \lambda_1 - A m^{\frac{1}{3}}.$$

Nous reviendrons plus loin sur cette diminution de la conductibilité moléculaire lorsque la concentration augmente.

Considérons seulement pour l'instant la conductibilité moléculaire limite λ_1.

La plupart des auteurs qui se sont occupés de cette question sont actuellement à peu près d'accord sur le point suivant.

Pour la plupart des sels neutres la conductibilité moléculaire limite est du même ordre de grandeur. Ce fait lui-même est déjà fort remarquable.

Mais, en ce qui concerne la valeur numérique exacte de cette conductibilité moléculaire limite, il y a encore une certaine divergence entre les opinions des divers auteurs.

M. Bouty, qui a publié de longues et remarquables études sur la conductibilité des électrolytes, énonce la loi suivante :

Les sels neutres ont tous la même conductibilité moléculaire limite. Cette limite serait égale à 0,081 ohm-centimètre par molécule-gramme par litre, à la température de 0°.

Un certain nombre de sels font exception à cette loi : par exemple, la loi s'applique au chlorure de potassium et non au chlorure de sodium, à l'azotate de potassium, mais non à l'azotate de baryum, etc.

Il résulte de là, d'après M. Bouty, que les sels neutres peuvent se partager en deux classes : les sels normaux qui suivent la loi de la conductibilité moléculaire limite et les sels anormaux qui ne la suivent pas. Y a-t-il, au point de vue électrolytique, d'autres propriétés qui distinguent les sels normaux et les sels anormaux ?

En examinant les nombres de transport relatifs aux ions qui constituent tous ces sels,

(1) Chaperon. *Journal de Phys.*, 2e série t. IX, p. 84.

(2) La signification de ce nombre m est très simple ; il importe cependant de s'en faire une idée bien nette : prenons par exemple du chlorure de potassium KCl : son poids moléculaire, en prenant comme unité le poids atomique de l'hydrogène (H = 1) est 74,5 : si nous considérons une dissolution de chlorure de potassium contenant par exemple 7,45 grammes par litre, nous dirons que cette dissolution contient un dixième de molécule par litre : $m = \frac{1}{10}$; et ainsi de suite.

(1) Bouty. — Kohlrausch.

M. Bouty a observé que les nombres de transport des sels normaux étaient tous sensiblement égaux à 0,5 tandis que, pour les sels anormaux, les nombres de transport différaient de cette valeur, (d'une certaine quantité en plus pour l'un des ions, en moins pour l'autre).

Par conséquent la distinction entre les sels normaux et les sels anormaux est en réalité fondée sur le phénomène du transport des ions et ainsi se trouve établie une relation intime entre la conductibilité et l'électrolyse.

La loi de M. Bouty, ainsi que la distinction entre les sels normaux et les sels anormaux ne semblent pas avoir été adoptées en Allemagne : comme contre-partie, nous trouvons universellement admises dans tous les mémoires allemands, les lois de M. Kohlrausch que nous allons exposer maintenant.

C'est également une relation entre la conductibilité électrolytique et les nombres de transport que ces travaux établissent ; on peut les résumer dans les deux lois suivantes :

1° La conductibilité moléculaire limite d'un électrolyte quelconque est égale numériquement à la somme de deux nombres caractéristiques des deux ions qui le composent.

Il en résulte qu'il suffit d'avoir déterminé une fois pour toutes les nombres caractéristiques de tous les ions, pour avoir par une simple addition la conductibilité d'un électrolyte formé par la combinaison de deux quelconques d'entre eux.

2° Ces nombres caractéristiques des ions sont proportionnels à leurs nombres de transport.

Voici par exemple, les nombres caractéristiques de quelques ions à la température de 23°,8 :

Ions électronégatifs		Ions électropositifs	
Cl	$6,58 \cdot 10^{-2}$	H	$32,35 \cdot 10^{-2}$
Br	6,73	K	6,58
I	6,73	Na	4,40
AzO^3	5,84	Li	3,43
ClO^3	5,24	etc.	
ClO^4	6,21		

L'usage de ce tableau est immédiat : soit à trouver la conductibilité moléculaire du chlorure de lithium ; dans le tableau précédent, nous prendrons les nombres relatifs au chlore et au lithium, et nous en ferons la somme : la conductibilité cherchée sera alors

$$\frac{c}{m} = (6,58 + 3,43)\, 10^{-2} = 10 . 10^{-2} = \frac{1}{100},$$

Si la dissolution a été faite à $\frac{1}{32}$ molécule gramme par litre, on a $m = \frac{1}{32}$; d'où :

$$c = \frac{1}{320},$$

Donc la conductibilité d'une telle dissolution est $\frac{1}{320}$ mho par centimètre et sa résistivité de 320 ohms-centimètre.

D'autre part, les nombres de transport du chlore et du lithium dans le chlorure de lithium seront proportionnels aux nombres 6.58 et 3,43, et, comme leur somme doit être égale à l'unité, ces nombres de transport seront respectivement 0,658 et 0,343.

Cet exemble suffit à montrer comment il convient d'appliquer les lois de Kohlrausch. Tous les cas analogues se traiteraient de même.

Il est à remarquer que dans l'application de ces lois, un même ion peut, suivant les cas avoir différents nombres caractéristiques : c'est ainsi que certains ions n'ont pas la même caractéristique suivant qu'ils figurent dans des sels monobasiques ou polybasiques : il y a là une complication qu'on ne peut se dissimuler

Comme il est facile de le voir, les lois de M. Bouty et de M. Kolhrausch sont incompatibles, et, comme nous le disions plus haut, l'accord ou le choix ne sont pas faits entre elles. Il peut paraître surprenant que, dans, une question d'ordre expérimental, l'expérience n'ait pas tranché la difficulté ; mais il faut observer que les lois en question sont des lois limites, s'appliquant à des liqueurs infiniment étendues : or, plus la dilution augmente, plus les expériences deviennent difficiles et incertaines : en effet, l'eau chimiquement pure étant impossible à obtenir, les traces des sels

qu'on ajoute aux grandes dilutions sont en proportion comparable à celle des impuretés, de sorte que les mesures perdent toute signification.

Aussi, arrivés à ce point, convient-il d'avoir recours à la théorie sinon pour décider d'une manière définitive entre les deux lois, au moins pour juger laquelle présente la plus grande vraisemblance. Or, comme nous allons le voir les lois de M. Kolhrausch se présentent comme une conséquence immédiate et très naturelle de la théorie du transport des ions que nous avons exposée plus haut ; c'est à cet accord, sans doute, qu'il faut attribuer la grande importance qu'ont prise ces lois à l'étranger, et surtout en Allemagne où était née, avec les travaux d'Hittorf, la théorie du transport des ions. Ces idées sont actuellement si répandues parmi les physiciens et les chimistes allemands que nous les exposerons avec quelque détail.

Cherchons à évaluer dans l'hypothèse du transport des ions la conductibilité d'un électrolyte : pour cela, isolons entre les deux électrodes A et B un cylindre liquide ne contenant qu'une file de molécules.

Soient, comme précédemment, N le nombre de molécules, comprises entre les deux électrodes, l la longueur, S la section de ce cylindre. Son volume est Sl et le nombre de molécules par unité de volume(¹) est :

$$m_1 = \frac{N}{Sl}.$$

Nous avons vu plus haut que le poids P de l'un des ions précipité par seconde est (en grammes).

$$P = \frac{N(u+v)p}{l}.$$

Soit I l'intensité du courant, E la différence de potentiel entre les électrodes A et B (supposées impolarisables), R la résistance de la colonne AB, k l'équivalent électrochimique de l'ion A en grammes par coulomb, on a :

$$P = kI.$$

Donc :

$$\frac{N(u+v)p}{l} = kI = k\frac{E}{R}.$$

Mais, en appelant c la conductibilité de la dissolution, on a

$$R = \frac{l}{cs}, \quad \text{d'où} \quad \frac{N(u+v)p}{l} = \frac{kEcS}{l},$$

ou :

$$m_1(u+v)p = \frac{kEc}{l}.$$

Mais nous savons que l'équivalent électrochimique k, en grammes par coulomb, est donné par la formule

$$k = 1{,}030.10^{-5}p.$$

Donc :

$$m_1(u+v) = \frac{1{,}030.10^{-5}Ec}{l}$$

$\frac{E}{l}$ représente la force électromotrice par unité de longueur ; je pose $\frac{E}{l} = e$,

$$m_1(u+v) = 1{,}030.10^{-5}ec,$$

ou en introduisant, à la manière habituelle, la concentration m exprimée en molécule-gramme par litre :

$$m(u+v) = 1{,}030.10^{-2}ec.$$

On voit tout d'abord que pour un électrolyte donné la somme des vitesses $u+v$ est proportionnelle à la force électromotrice par unité de longueur e, c'est-à-dire aussi à l'intensité du courant ; comme, d'après Hittorf, le rapport $\frac{u}{v}$ est indépendant de cette intensité, il en résulte que u et v sont séparément proportionnels à e. Appelons donc u_1 et v_1 les vitesses (en centimètres par seconde) des ions pour une force électromotrice de 1 volt par centimètre, il viendra :

$$m(u_1+v_1) = 1{,}030.10^{-2}c,$$
$$c = \frac{m(u_1+v_1)}{1{,}030.10^{-2}}.$$

Il résulte de là que la conductibilité spécifique c doit être proportionnelle à m, c'est-à-

(¹) Si S est exprimé en centimètres carrés et l en centimètres, m_1 représente le nombre de molécules par centimètre cube. Si m désigne comme précédemment le nombre de molécules par litre, on a évidemment $m = 1\,000\, m_1$.

dire à la concentration. Nous avons vu qu'il en était ainsi pour des liqueurs très diluées. Divisons de part et d'autre par m ; il vient

$$\lambda = \frac{c}{m} = \frac{u_1 + v_1}{1{,}030.10^{-8}}.$$

Le quotient $\frac{c}{m}$ est comme nous l'avons vu la conductibilité moléculaire limite de la dissolution. On voit que dans cette théorie, la conductibilité moléculaire prend une signification physique très simple : elle représente, à un facteur près, la somme des vitesses des deux ions pour une différence de potentiel de 1 volt par centimètre.

Les lois de Kohlrausch peuvent se déduire de ces expressions. Si en effet nous nous bornons à des dissolutions très étendues, nous pouvons admettre, en vertu de remarques faites plus haut, que les vitesses de déplacement u_1 et v_1 dépendent exclusivement de la nature des deux ions, et alors nous arrivons à la conclusion suivante :

La conductibilité moléculaire d'un électrolyte en dissolution très étendue, pourra être exprimée par la somme de deux nombres caractéristiques de chacun de ses ions. C'est la première loi de Kohlrausch.

Si nous posons :

$$\frac{u_1}{1{,}030.10^{-8}} = \alpha, \qquad \frac{v_1}{1{,}030.10^{-8}} = \beta,$$

il vient :

$$\lambda = \alpha + \beta.$$

D'autre part, nous avons vu que le nombre de transport n relatif à l'un des ions était

$$n = \frac{u}{u+v} = \frac{\alpha}{\alpha + \beta}.$$

De même le nombre n' relatif à l'autre ion est

$$n' = \frac{v}{u+v} = \frac{\beta}{\alpha + \beta}.$$

D'où :

$$\frac{\alpha}{\beta} = \frac{n}{n'}$$

et par suite les caractéristiques α et β des deux ions sont simplement proportionnelles à leurs nombres de transport : c'est la deuxième loi de Kohlrausch.

Dans la pratique, pour déterminer les caractéristiques des différents ions, on partira des quantités abordables directement à l'expérience, à savoir : 1° la conductibilité moléculaire limite λ; 2° le nombre de transport n relatif à l'un des ions. De ces deux données on tirera.

$$\alpha = n\lambda$$
$$\beta = (1 - n)\lambda.$$

On pourra ainsi dresser un tableau donnant les caractéristiques de tous les ions, et, comme nous l'avons expliqué, il sera possible ultérieurement de déduire d'un tel tableau les conductibilités de tous les sels, et les nombres de transport de leurs ions.

Telle est, dans son ensemble, la théorie de Kohlrausch ; cette théorie, on le voit, se développe d'une manière très simple, et presque sans hypothèse, du moment que l'on admet les idées que nous avons exposées sur le mécanisme de la propagation de l'électricité dans les électrolytes. Néanmoins, il ne faut pas se dissimuler les objections que l'on peut lui faire.

En premier lieu, comme nous l'avons vu, la conductibilité n'est pas proportionnelle à la concentration comme l'indiquerait l'expression

$$c = \frac{m(u_1 + v_1)}{1{,}030.10^{-8}}.$$

Cette objection n'est pas très grave et on peut la lever de plusieurs façons (1); on peut, par exemple, admettre que les vitesse u_1 et v_1, dépendent de la concentration : or il n'y a rien de surprenant à ce que le coefficient de frottement des ions, dont, à force électrique égale, dépend leur vitesse, varie avec la concentration de la dissolution : cette vitesse ne peut être considérée comme caractéristique d'un ion déterminé, que si la dissolution est assez étendue pour que tout se passe comme si l'ion frottait contre de l'eau pure.

En second lieu, comme nous l'avons vu, un

(1) Voir plus loin, p. 586 la théorie **d'Arrhénius.**

même ion peut avoir plusieurs caractéristiques différentes suivant, par exemple, qu'il appartient à un sel monobasique ou bibasique : ceci est plus surprenant, car on ne s'explique guère, si les ions sont indépendants les uns des autres, comment, dans une dissolution très étendue, le coefficient de frottement d'un ion contre l'eau pure dépend de la nature de la combinaison où cet ion est engagé. Cette objection est donc grave ; néanmoins il ne semble pas qu'elle doive suffire à rejeter tout un ensemble de faits qui présentent entre eux une certaine cohérence.

Si nous continuons à adopter cette manière de voir, nous pouvons même aller plus loin et calculer, en valeur absolue, la vitesse des ions à travers la dissolution. C'est là peut-être une simple curiosité, mais qui présente un certain intérêt à cause de ses relations avec ce qui précède.

On a :

$$\lambda = \frac{u_1 + v_1}{1{,}030.10^{-2}},$$

$$n = \frac{u_1}{u_1 + v_1},$$

λ étant la conductibilité moléculaire [la concentration m étant exprimée en nombre de molécules-grammes par litre], u_1 et v_1 étant les vitesses des ions pour une différence de potentiel de $1 \frac{\text{volt}}{\text{centimètre}}$.

De ces deux formules on peut déduire numériquement les vitesses u_1 et v_1 si on connaît λ et n qui sont des données expérimentales.

Nous ferons le calcul dans le cas de vitesses égales des deux ions (sels normaux de M. Bouty). Il vient alors.

$$u_1 = \frac{1}{2}.\ 1{,}030.10^{-2}\,\lambda.$$

Or nous avons trouvé plus haut que pour le chlorure de potassium (type des sels normaux de M. Bouty) on a :

$$\lambda = 0{,}081.$$

Il vient donc

$$u_1 = \frac{1}{2}.\ 1{,}030.10^{-2}.\ 0{,}081\ \frac{\text{cm}}{\text{sec}}$$

$$u_1 = 0{,}00042\ \frac{\text{cm}}{\text{sec}}.$$

Cette valeur se rapporte au chlore et au potassium dans une dissolution très étendue à la température de 0°, et pour une force électrique de 1 volt par centimètre.

Si la loi de M. Bouty est exacte, cette vitesse est la même pour tous les ions qui entrent dans les sels normaux.

On peut aller plus loin et calculer la force constante qui s'exerce sur une quantité déterminée de l'ion, 1 mg. par exemple, pour lui communiquer une vitesse constante de $1 \frac{\text{cm}}{\text{sec}}$.

Nous savons qu'une force électrique de 1 volt par centimètre communique à l'ion potassium dans le chlorure de potassium une vitesse de $0{,}00042 \frac{\text{cm}}{\text{sec}}$; pour lui communiquer une vitesse de $1 \frac{\text{cm}}{\text{sec}}$ il faut donc une force électrique de $\frac{1}{0{,}00042} = 230$ volts par centimètre. Cherchons quelle est la force pondéromotrice agissant sur 1 mg. de l'ion et correspondant à cette force électrique. Il suffit pour cela de calculer la charge Q_1 portée par 1 mg. de potassium. Nous avons, d'après la loi de Faraday :

$$P = kQ = 1{,}030.10^{-2} p.Q,$$

p étant le poids équivalent du potassium, dans le chlorure de potassium : $p = 39$. Si nous faisons $P = 1$, nous trouvons

$$Q_1 = \frac{1}{1{,}030.10^{-2}.39}.$$

Telle est, exprimée en coulombs, la quantité d'électricité portée par 1 mg. de potassium. Si nous voulons l'exprimer en unités électrostatiques, il nous suffira de nous rappeler que

$$1 \text{ coulomb} = 3.10^{9} \text{ unités électrostatiques.}$$

Donc :

$$Q_1 = \frac{100.3.10^{9}}{1{,}030.39} \text{ unités électrostatiques.}$$

Calculons de même, en unités électrostatiques, la force électrique f correspondant à une chute de potentiel de $2\,380 \frac{\text{volts}}{\text{cent}}$.

Nous savons que

$$1 \text{ volt} = \frac{1}{300} \text{ unité électrostatique.}$$

Donc :

$$f = -\frac{dV}{dn} = \frac{2380}{300} \text{ dynes par unité de masse électrique.}$$

Il en résulte que la force agissant sur 1 mg. de potassium pour lui imprimer une vitesse de $1 \frac{\text{cm}}{\text{sec}}$ est

$$F = fQ_1 = \frac{2380}{300} \times \frac{100.3.10^8}{1{,}030.39},$$

$$F = 60\,000 \text{ kilog. environ.}$$

Telle est la force qui, s'exerçant sur 1 mg. de potassium le fait progresser à travers la dissolution avec une vitesse de $1 \frac{\text{cm}}{\text{sec}}$.

Cette force est donc énorme : il est vrai que si l'on admet l'hypothèse moléculaire, 1 mg. de matière, contient un nombre énorme d'atomes et que par suite, la force relative à chaque atome peut néanmoins être très faible.

Il est évident qu'il ne faut pas attacher à ces calculs plus d'importance qu'ils n'en comportent; nous les avons surtout donnés en vue d'illustrer la théorie de Kohlrausch et de mieux la faire comprendre.

Il reste maintenant un fait sur lequel nous devons revenir : c'est la diminution de la conductibilité moléculaire lorsque la concentration augmente. Bien des explications ont été proposées, nous en avons déjà indiqué une; nous donnerons maintenant celle d'Arrhénius qui est fort ingénieuse et jouit actuellement, surtout en Allemagne, d'un certain crédit.

Si on admet la théorie du transport de l'électricité par convection dans les électrolytes, on est forcément amené à l'expression que nous avons donnée plus haut pour la conductibilité :

$$c = \frac{u_1 + v_1}{1{,}030.10^{-2}} m = \mu m.$$

en posant :

$$\frac{u_1 + v_1}{1{,}030.10^{-2}} = \mu.$$

L'expérience nous a appris que la conductibilité c n'était pas proportionnelle à la concentration; pour l'expliquer, nous avons admis plus haut que les vitesses u_1 et v_1 dépendaient elles-mêmes de la concentration. Mais on peut au contraire admettre que u_1 et v_1 sont constants et faire une autre hypothèse. Pour bien la comprendre, quelques développements sont nécessaires.

Si la molécule électrolytique était un tout rigide, formé par la liaison des deux ions, il semble que pour faire passer un courant dans un électrolyte, il faudrait le soumettre à une force électrique finie, suffisante pour briser la molécule ; or l'expérience montre qu'une force électromotrice infiniment faible suffit pour donner dans un électrolyte un courant infiniment faible, il est vrai, mais qui, comme nous le savons, suppose essentiellement la séparation de la molécule en ses deux ions. Pour expliquer ce fait, Clausius a admis qu'au sein d'une dissolution, les molécules sont dans un état de décomposition et de recomposition continuelles, les ions s'échangeant au hasard d'une molécule à l'autre : lorsqu'on soumet l'électrolyte à une force électromotrice même très faible, ces mouvements sont régularisés, tous les ions électro-positifs étant dirigés dans un sens, tous les ions électro-négatifs dans l'autre.

Arrhénius va plus loin ; il admet que, au sein d'un électrolyte étendu, les ions flottent libres, et que les molécules sont complètement dissociées en leurs ions constitutifs, cette dissociation étant la condition essentielle pour que les ions puissent se déplacer et pour que, par suite, l'électrolyte puisse livrer passage au courant : nous appellerons alors molécules actives ces molécules dissociées au sein de l'électrolyte.

Pour expliquer comme quoi la conductibilité n'est pas proportionnelle à la concentration, il suffit d'admettre que dans une liqueur de concentration moyenne toutes les molécules ne sont pas actives : en d'autres termes, lorsque nous croyons introduire m molécules dans 1 litre de dissolution, en réalité, m_1 seulement sont dissociées et actives, tandis que les m_2 qui restent sont intactes et inactives : alors, au lieu d'écrire

$$c = \mu m,$$

nous devons écrire

$$c = \mu m_1.$$

D'où :

$$\lambda = \frac{c}{m} = \mu \frac{m_1}{m} = \mu \frac{m_1}{m_1 + m_2}.$$

Ainsi, pour une concentration moyenne, la conductibilité moléculaire est égale à la constante μ, multipliée par une fraction plus petite que 1, qui représente le rapport du nombre des molécules actives ou dissociées au nombre total de molécules.

Si nous admettons, avec Arrhénius, que ce rapport tend vers l'unité lorsque la dilution augmente, autrement dit que, dans les liqueurs infiniment étendues toutes les molécules sont dissociées, nous trouvons

$$\text{lim.}\ \lambda = \mu.$$

D'où :

$$\frac{\lambda}{\text{lim}\ \lambda} = \frac{m_1}{m_1 + m_2} = \alpha.$$

Ainsi le rapport $\frac{\lambda}{\text{lim}\lambda}$ qui est directement donné par l'expérience, nous donne, dans cette manière de voir, le rapport α du nombre des molécules actives au nombre total des molécules que nous croyons avoir introduites dans 1 litre de dissolution.

Cette donnée est fort importante dans le développement de la théorie des dissolutions: elle nous permet en effet de calculer le nombre total de *monades* (ions, atomes ou molécules) qui flottent dans une dissolution étendue. Supposons, pour plus de généralité, que nous ayons affaire à un composé dont la formule est $J^a K^b$, J et K étant les deux ions, a et b les nombres de ces ions qui constituent la molécule: 1 molécule dissociée donnera $(a + b)$ ions ou monades; les m_1 molécules dissociées donneront donc $m_1 (a + b)$ ions; il reste m_2 molécules non dissociées; le nombre total de monades libres dans 1 litre de la dissolution est donc, non pas m, comme nous pouvons le croire, mais :

$$m_1(a + b) + m_2 = m_1(a + b - 1 + m)$$

Le rapport i du nombre de monades existant dans 1 litre de la liqueur au nombre m que nous croyons y avoir introduit est donc :

$$\frac{m_1}{m}(a + b - 1) + 1.$$

D'où :

$$i = 1 + \alpha (a + b - 1).$$

Toutes les quantités qui figurent dans cette expression sont données par l'expérience; i est donc connu numériquement.

Il sortirait du cadre de cette leçon d'étudier les différents points de la théorie des dissolutions où intervient ce nombre i, il nous suffit d'avoir montré comment on peut le calculer en partant de données purement électriques.

APPLICATIONS

Nous indiquerons maintenant un certain nombre d'applications plutôt à titre d'exercice et de sujet de réflexion qu'avec l'intention d'en faire une étude approfondie.

1° *Variation de la résistance d'un sel par le passage d'un courant.* Prenons, par exemple, un sel alcalin qui, comme nous le savons, se décompose en un acide et une base entre des électrodes inattaquables : dans les premiers moments, la résistance diminuera, la conductibilité moléculaire des acides et des bases étant plus grande que celle des sels.

Mais, à mesure que la décomposition avance, le centre de l'appareil tend à être occupé par de l'eau pure, et alors la résistance augmente : enfin, à un certain moment, la diffusion intervenant, un régime permanent s'établit, et on observe une résistance limite constante : mais cette limite, on le voit, dépendra de l'intensité du courant et de la forme de l'appareil. On pourrait donc être tenté de dire que dans ce cas la résistance dépend de l'intensité (ce qui serait nier la loi de Ohm pour les électrolytes); mais on voit que c'est là une simple illusion qui s'explique par les lois ordinaires de l'électrolyse (1).

2° *Electrolyse des mélanges.* Prenons un

(1) POTIER. — *Bulletin de la Société des Electriciens*, t. XII, p. 305.

mélange de deux sels sans action chimique l'un sur l'autre.

Dans l'idée que nous nous faisons de l'électrolyse, tous les ions devront prendre part au passage du courant et, par suite, les deux ions électro-positifs seront transportés dans le sens du courant comme phénomène primaire; ils devraient se déposer tous deux en même temps: mais il peut se présenter des phénomènes secondaires. Prenons, par exemple, le mélange de sulfate de cuivre et de sulfate de zinc; le cuivre et le zinc se déposent en même temps, mais par un effet secondaire, le zinc réduit le sulfate de cuivre, de sorte que, finalement, il ne se dépose que du cuivre pur.

Ainsi, tout se passe comme si le sulfate de cuivre seul était décomposé, le sulfate de zinc n'intervenant que pour modifier la conductibilité de l'électrolyte : c'est là un de ces cas que nous signalions au début de ces leçons comme donnant lieu à des interprétations erronées : en réalité, les lois ordinaires s'appliquent et suffisent entièrement à expliquer le phénomène.

On voit que par suite de l'action secondaire du zinc sur le sulfate de cuivre, il se reforme dans le voisinage de la cathode du sulfate de zinc: on pourrait donc croire que le courant transporte de toutes pièces du sulfate de zinc, ce qui serait un nouveau phénomène de transport, différent du transport des ions (Chassy). Sans nier absolument l'existence possible de ce phénomène, nous remarquerons que les lois ordinaires de l'électrolyse suffisent à l'expliquer au moins qualitativement; nous proposons, à titre d'exercice, de rechercher si les lois numériques trouvées par M. Chassy s'accordent avec cette manière de voir.

Si la densité du courant devient plus forte, le zinc arrive en trop grande quantité, n'a pas le temps de réduire le sulfate de cuivre et se dépose en même temps que lui. La densité pour laquelle cela a lieu est d'autant plus faible que le mélange est plus riche en sulfate de zinc; mais il est remarquable que, pour un mélange donné, la résistance est indépendante de la densité du courant, ce qui montre bien que les deux sels prennent également part à l'électrolyse.

En ce qui concerne la conductibilité des mélanges et l'application de sa mesure à l'étude des phénomènes chimiques, nous renverrons aux travaux de M. Bouty,

3° *Électrolytes en série.* — Considérons un certains nombres d'électrolytes en série, sans intervention d'électrodes à conductibilité métallique. Une telle chaîne peut être considérée comme formée d'un certain nombre de tronçons homogènes séparés par des mélanges à proportion variable. Que se passera-t-il dans ces régions intermédiaires? Y aura-t-il des ions mis en liberté; se produira-t-il des phénomènes secondaires, etc? Voilà une série de questions que nous nous bornerons à poser. Elles ont déjà fait l'objet de remarques intéressantes, mais peut-être ne sont-elles pas complètement épuisées, et leur étude pourrait sans doute donner encore des renseignements précieux sur le mécanisme de l'électrolyse.

Au point de vue pratique, la question ne manque pas d'intérêt; c'est en effet un problème de ce genre qui se pose lorsqu'on fait passer un courant dans le corps humain en plongeant, par exemple, les deux mains dans deux dissolutions électrolytiques, servant d'entrée et de sortie au courant : les ions, transportés par le courant, pénètrent dans le corps d'où une nouvelle méthode thérapeutique extrêmement intéressante destinée à introduire certains médicaments en des régions bien localisées où on veut les faire agir [1].

PAUL JANET.
Chargé de Cours à la Faculté des sciences.
Directeur du Laboratoire central d'électricité.

L'ÉLECTRICITÉ A BORDEAUX [2]

LES ÉMULSEURS DE VAPEUR DE DUBIAU

Les émulseurs à vapeur qui sont appliqués aux chaudières des usines de Bordeaux, rue

(1) LABATUT. — Transport des ions dans les tissus organisés. *Dauphiné médical, Annales de l'Université de Grenoble.*

(2) Voir l'*Éclairage Électrique* du 24 août 1895, page 337.

du Temple, rue Margaux et à l'Exposition nous semblent devoir rendre de réels services dans les stations centrales d'électricité.

L'inventeur, M. Paul Dubiau, est le directeur de l'Association des propriétaires d'appareils à vapeur du sud-est de la France; il fut frappé du grand nombre d'accidents de chaudières qui se produisent encore malgré toutes les précautions prises pour les éviter. Il chercha à les prévenir en procurant à l'eau une circulation énergique.

On sait que si l'eau mouille complètement la surface d'un corps en contact avec la flamme, ce corps ne peut prendre une température dangereuse. Dans la plupart des chaudières ordinaires cette condition n'est pas remplie parce que la circulation de l'eau n'est pas assez active; les boues et dépôts calcaires de l'eau d'alimentation tendent alors à se déposer sur les parois de la chaudière; la vapeur engendrée au contact des parois directement soumises à l'action du foyer ne peut se dégager assez rapidement et forme des sortes de matelas gazeux entre les parois de la chaudière et le liquide. Ces deux causes ont pour effet d'empêcher le mouillage effectif du métal et de permettre des échauffements anormaux qui se traduisent trop souvent par des déchirements des tôles, c'est-à-dire par des accidents parfois mortels. Pour les prévenir, on est conduit à limiter la vaporisation, pour une surface de chauffe donnée, à une valeur assez faible afin de permettre le dégagement de la vapeur aussitôt qu'elle est engendrée. En pratique la valeur normale de la vaporisation horaire par mètre carré de surface de chauffe ne dépasse pas 10 à 15 kg. Pour des valeurs supérieures, les matelas de vapeur peuvent se produire et les accidents par suite de coups de feu sont à craindre. Pour une puissance donnée, la surface de chauffe des chaudières doit donc être augmentée et partant, aussi les frais d'achat, d'établissement, de maçonnerie, d'entretien et de main-d'œuvre.

Une circulation énergique de l'eau à l'intérieur des chaudières permet d'éviter ces inconvénients, car elle facilite le dégagement de la vapeur et empêche, sous certaines conditions, les dépôts de calcaire de se former. En outre, l'eau qui vient en contact avec les parois de la chaudière étant sans cesse renouvelée, la transmission de la chaleur s'opère plus rapidement et la température de l'ensemble est plus uniforme, ce qui évite les dilatations inégales, sources de détérioration des joints et des maçonneries.

La circulation énergique de l'eau dans les chaudières a donc plusieurs effets bien distincts. D'abord, elle augmente la sécurité qu'elle rend presque parfaite en assurant le mouillage constant des tôles de coup de feu; ensuite elle permet d'augmenter la puissance spécifique de vaporisation, et par conséquent, comme nous l'avons expliqué déjà, de diminuer les frais de premier établissement et d'entretien; enfin, en facilitant la transmission de la chaleur, en diminuant les résistances inertes provenant de l'interposition des matières peu conductrices de la chaleur telles que dépôts boueux et matelas de vapeur, elle permet d'augmenter le rendement des chaudières, c'est-à-dire la quantité de vapeur produite pour une consommation déterminée de combustible.

Ces effets de la circulation de l'eau dans les chaudières sont connus depuis bien longtemps et de nombreuses dispositions ont été proposées pour la réaliser pratiquement. Dans une étude qu'il a récemment publiée, M. H. Fontaine rappelle qu'on trouve « dans une patente anglaise délivrée à John Payne le 15 novembre 1736, c'est-à-dire à une époque où il n'existait pas encore de machines à vapeur industrielles, la description d'une chaudière sphérique à l'intérieur de laquelle était placée une sorte de turbine projetant à jet continu, de l'eau sur la partie équatoriale recevant l'action des flammes.

« Cette conception, maintes fois reprise depuis John Payne, n'avait jamais donné de résultats bien satisfaisants avant ces dernières années où, grâce aux travaux de M. Garnier, ingénieur aux Etablissements d'Indret, elle a enfin reçu un certain nombre d'applications fort intéressantes.

« L'appareil de brassage inventé par M. Garnier se compose d'une petite pompe centrifuge automotrice en bronze qui aspire l'eau chaude dans le voisinage du plan de niveau et la refoule dans la partie basse de la chaudière. Le débit de ces pompes dépend de leur vitesse : à 400 tours par minute, elle peuvent mettre en

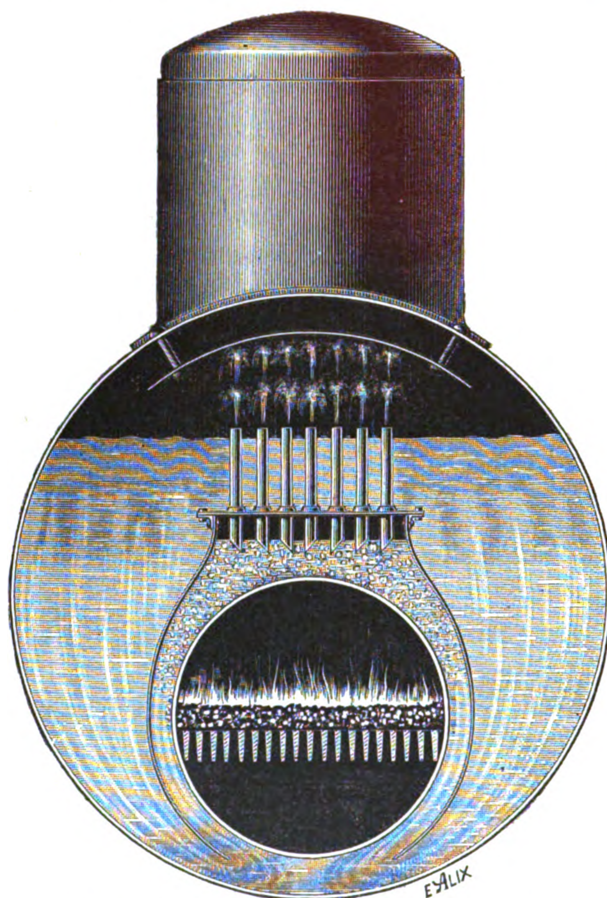


Fig. 1. — Principe de l'émulseur Dubiau; application à une chaudière à foyer intérieur.

mouvement environ 20 mètres cubes d'eau à l'heure. Cette active circulation égalise la température dans toutes les parties des chaudières, permet une dilatation uniforme des corps cylindriques et supprime radicalement les fuites qui se produisent à la suite des efforts énormes occasionnés par des dilatations inégales. On ne peut guère reprocher qu'une chose à ces pompes : c'est de constituer par elles-mêmes des machines assez délicates, exigeant une surveillance incessante, et susceptibles, après un fonctionnement plus ou moins long, d'arrêts fréquents.

« Tout ce qui a été essayé dans le même ordre d'idées a donné lieu aux mêmes inconvénients ».

Le principe des émulseurs est tout différent. Il consiste à utiliser la force expansive de la vapeur elle-même, à l'intérieur de la chaudière, pour effectuer le brassage de l'eau. L'appareil employé dans ce but se compose uniquement d'un écran et d'un faisceau de tubes, c'est-à-dire qu'il ne comporte aucun organe mobile et est peu susceptible de se déranger.

La figure 1, qui représente l'appareil appliqué à une chaudière à foyer intérieur, permet d'en comprendre aisément le principe.

Un écran horizontal est placé à l'intérieur de la chaudière au-dessus du ciel du foyer ; il est rivé sur les parois du corps cylindrique ; des tôles cintrées sont rivées à cet écran et descendent, en entourant le foyer à une certaine distance, jusqu'à 10 cm. environ du fond de la chaudière. Des tubes sont fixés dans l'écran ; ils descendent jusqu'à quelques centimètres au-dessous de celui-ci et s'élèvent un peu au-dessus du niveau normal de l'eau dans la chaudière, comme la représente la gravure. Le bas des tubes est taillé en sifflet Une tôle cintrée placée au dessus de ces tubes limite la projection d'eau et de vapeur.

Lorsque la chaudière est au repos, l'eau s'élève au même niveau dans le corps principal et dans les tubes. Mais, lors de la mise en feu, la vapeur engendrée au contact du foyer s'élève dans l'espace limité par l'écran et les tôles cintrées ; elle s'accumule en dessous du premier en chassant une certaine quantité d'eau qui se répand dans le corps de la chaudière. L'épaisseur du matelas de vapeur ainsi formé est déterminée par la tension de la vapeur et la pression du liquide. Lorsque la tension est suffisante, le niveau du liquide sous l'écran vient affleurer la partie inférieure des tubes. Ce niveau est nommé niveau d'émulsion. Par suite de la taille en biseau des tubes, voici ce qui se produit ; quatre forces sont en présence :

la pression du liquide extérieur, la pression du liquide dans les tubes, la tension de la vapeur accumulée sous l'écran et la tension superficielle de l'eau qui joue le rôle d'une membrane élastique. Les deux premières se font évidemment équilibre. Lorsque le niveau d'émulsion vient affleurer le bas des tubes, l'eau contenue dans ceux-ci est encore reliée à la masse inférieure par une sorte de ménisque concave; la pression de la vapeur augmentant, le niveau d'émulsion baisse, la concavité du ménisque diminue et bientôt l'angle de raccordement atteint une valeur inférieure à celle qui lui permet de faire équilibre à la force élastique de la vapeur; le ménisque se brise donc et la colonne d'eau des tubes se trouve isolée de la masse liquide; la vapeur pénètre dans les tubes et soulève la colonne d'eau contenue dans ceux-ci; l'équilibre étant rompu entre les forces précitées, le niveau d'émulsion s'élève à nouveau et les mêmes phénomènes se reproduisent tant que la vapeur continue à se former. Il s'établit ainsi, à l'intérieur des tubes, une succession de pistons d'eau séparés par des bulles de vapeur; celles-ci tendant à s'élever chassent devant elles les pistons liquides qui viennent se déverser à la partie supérieure des tubes pour retomber dans le corps principal de la chaudière. L'eau est prise à la partie inférieure de la chaudière, sous les tôles cintrées et retombe à la partie supérieure. La circulation est donc aussi parfaite que possible. Lorsque la chaudière est en pleine marche, les mêmes phénomènes se produisent avec une intensité beaucoup plus considérable, par suite de la vitesse de la vapeur et de l'eau dans les tubes. Ce sont alors de vraies colonnes d'eau et de vapeur contiguës qui circulent dans ceux-ci et amènent un brassage excessivement énergique de toute la masse aqueuse. Dans les expériences préliminaires qui ont été faites sur cet appareil avec une chaudière contenant environ 2 000 litres d'eau, on a constaté une émulsion de 30 litres d'eau par seconde; toute la masse liquide repassait donc par les mêmes emplacements chaque minute environ.

D'après les explications que nous avons données plus haut on peut se rendre compte que la quantité d'eau entraînée dépend de la vitesse d'écoulement de la vapeur dans les tubes, c'est-à-dire de la différence entre le niveau de l'eau dans le corps cylindrique principal et le niveau d'émulsion, et du diamètre des tubes.

Le fonctionnement de l'émulseur ne comporte aucun mouvement mécanique, en sorte qu'il présente peu de dangers de dérangement; la circulation active à l'intérieur des tubes y prévient la formation de dépôts; c'est une sorte de lavage automatique, la marche normale sans arrêts est donc assurée avec un entretien et une surveillance très faibles.

Les figures suivantes font voir le mode de montage des émulsions dans les principaux types de chaudières en usage.

On s'est servi, dans les essais, d'une chaudière semitubulaire à retour de flammes munie d'un faisceau émulseur; celui-ci se compose de 41 tubes de 25 mm. de diamètre intérieur, placés à l'avant de la chaudière. Les dimensions et la forme de la chaudière sont celles du modèle courant; voici ses principales caractéristiques.

Diamètre du bouilleur.	0,620 m.
Longueur —	3,020 m.
Volume —	910 litres.
Diamètre du corps cylindrique. . . .	1,226 m.
Longueur — —	2,114 m.
Volume — —	2.370 litres.
Diamètre du dôme de vapeur. . . .	0,780 m.
Hauteur — —	1,000 m.
Capacité totale de la chaudière. . . .	3,450 litres.
Volume occupé par l'eau.	2.170 —
— — la vapeur.	1,280 —
Surface de chauffe.	20,998 m²
— — par m³ d'eau. . . .	9,66 —
Poids de la chaudière et des accessoires.	5682 kg.
— par m² de chauffe.	270 —

M. E. Schmitz, ancien ingénieur de la Compagnie du gaz, a conduit une série d'expériences sur cette chaudière; nous en résumons les résultats dans le tableau suivant. La comparaison des chiffres relatifs à la vaporisation montre que la quantité d'eau évaporée par mètre carré de surface de chauffe a pu être double de la vaporisation maxima qu'on peut

TABLEAU I. — COMPARAISON DE LA PUISSANCE SPÉCIFIQUE D'UNE CHAUDIÈRE SEMITUBULAIRE AVEC ET SANS CIRCULATION D'EAU

	PREMIÈRE SÉRIE D'EXPÉRIENCES (chauffage au coke)		DEUXIÈME SÉRIE D'EXPÉRIENCES (allure normale)		TROISIÈME SÉRIE D'EXPÉRIENCES (faible allure)	
	avec émulseur	sans émulseur	avec émulseur	sans émulseur	avec émulseur	sans émulseur
Date des essais	10 octobre 1894	20 octobre 1894	11 octobre 1894	18 octobre 1894	12 octobre 1894	19 octobre 1894
Durée des essais	8 heures	8 heures	8 heures	8 heures	8 heures	8 heures
Surface de grille	0,96 m²	0,96 m²	0,96 m²	0,48 m²	0,96 m²	0,48 m²
Volume d'eau d'alimentation	5 846 litres	3 230 litres	5 572 litres	3 368 litres	3 265 litres	1 940 litres
Température de l'eau	15° C.	13° C	15° C	12° C	15° C	12,5° C
Pression moyenne de la chaudière	6,033 kg.	6,033 kg.	6,033 kg.	5,113 kg.	6,033 kg.	6,233 kg.
Nature du combustible employé	coke de gaz	coke de gaz	aggloméré d'Anzin	grain lavé d'Aniche	grain lavé d'Aniche	grain lavé d'Aniche
Poids total du combustible chargé	880 kg.	485 kg.	812 kg.	530 kg.	480 kg.	309 kg.
Déchets de grille séchés	75 kg.	40 kg.	42 kg.	58,5 kg.	57 kg.	44 kg.
Poids net de combustible brûlé par heure et par m² de chauffe	4,791 kg.	2,589 kg.	4,583 kg.	2,806 kg.	2,517 kg.	1,577 kg.
Température moyenne des gaz au foyer	1 060° C	987° C	1 018° C	1 060° C	828° C	»
Température moyenne des gaz au pied de la cheminée	266° C	290° C	323° C	375° C	247° C	»
Poids d'eau à 0°C, vaporisé à la pression moyenne, par m² de chauffe et par heure	34,523 kg.	17,964 kg.	34,041 kg.	18,750 kg.	19,255 kg.	10,767 kg.
Rendement brut. Volume d'eau vaporisé par kg. de combustible chargé	6,651 litres	6,659 litres	7,108 litres	6,354 litres	6,802 litres	6,278 litres
Rendement net. Poids d'eau à 0°C vaporisé à la pression moyenne par kg. de combustible brûlé	7,204 kg.	6,937 kg.	7,427 kg.	6,680 kg.	7,647 kg.	6,826 kg.

atteindre sans danger sans l'emploi de la circulation d'eau et que le rendement, c'est-à-dire le poids d'eau évaporé par kilogramme de combustible brûlé, est supérieur dans la chaudière munie d'émulseurs. L'influence de la circulation de l'eau est nettement manifeste. Le premier résultat est surtout important car il prouve à quel point ce brassage augmente la sécurité.

La figure 2 représente le montage dans le cas d'une chaudière à gros bouilleur. L'ouverture des deux cuissards est fermée au moyen de plaques de tôles; dans l'une passe le faisceau émulseur formé de 92 tubes de 30 mm. de diamètre intérieur; dans l'autre, un gros tube qui descend presque au fond du bouilleur à quelques centimètres au-dessus du ciel du foyer.

Les résultats obtenus sont du même ordre

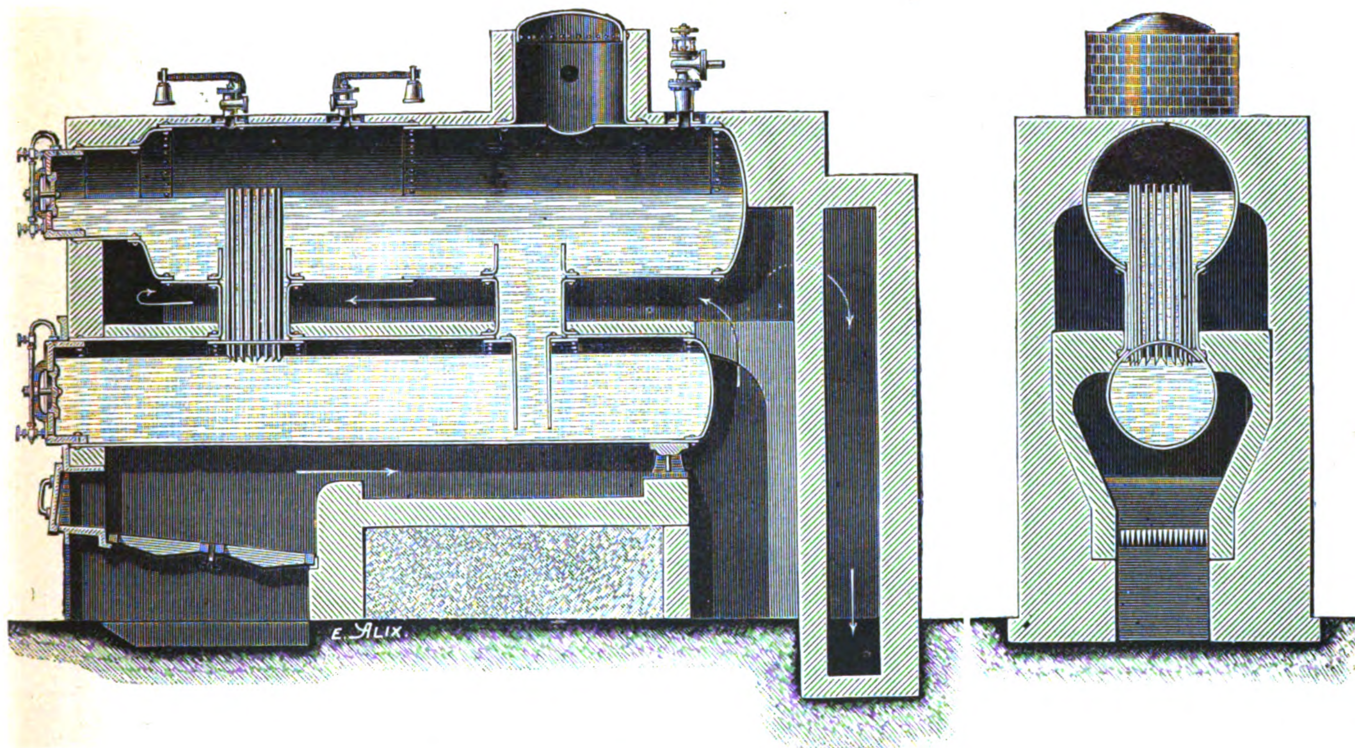


Fig. 2. — Montage d'une chaudière à gros bouilleur avec émulseur.

que ceux que nous venons de citer; sans circulation d'eau, la vaporisation ramenée de 0° à 158° C. (5 kg. de pression) a été par heure et par m² de surface de chauffe, de 10,650, 15,200 ou 16,250 kg. suivant l'allure avec un rendement moyen de 3,489 kg. par kg. de lignite brut et 4,132 kg. par kg. de lignite pur; avec circulation d'eau la vaporisation dans les mêmes conditions a atteint 17,100 et 29 kg., avec un rendement moyen de 4,131 kg. par kg. lignite brut et 4,832 kg. par kg. de lignite pur; l'économie de combustible est donc de 5 à 18 p. 100. Le résultat le plus intéressant que l'exploitation courante de cette chaudière a permis de constater est que les dépôts sont tous amenés dans le corps cylindrique supérieur, où ils ne présentent aucun inconvénient sérieux et d'où ils peuvent être enlevés facilement, tandis qu'auparavant les dépôts s'accumulaient sur la surface inférieure du bouilleur, soumise aux coups de feu, et la chaudière devait subir un nettoyage intérieur tous les deux mois.

Enfin nous représentons en figure 3 une chaudière multitubulaire munie d'appareils émulseurs. La circulation d'eau présente, au

point de vue de la sécurité, une importance plus considérable peut-être que pour les types précédents. Il est, en effet, démontré que, dans ces appareils, les tubes inférieurs sont presque toujours incomplètement remplis d'eau, surtout lorsque le feu est activement poussé : l'eau y arrive alors d'une manière intermittente, se vaporise presque instantanément et donne au niveau une agitation dont l'amplitude est parfois si grande que toutes les indications en sont faussées. La circulation supprime radicalement ce grave inconvénient et permet de doubler, sans aucun danger, le régime de la vaporisation.

Les résultats des expériences effectuées en mai 1894 par M. Compère, directeur de l'Association parisienne des propriétaires d'appareils à vapeur, donnent à ce sujet d'utiles indications.

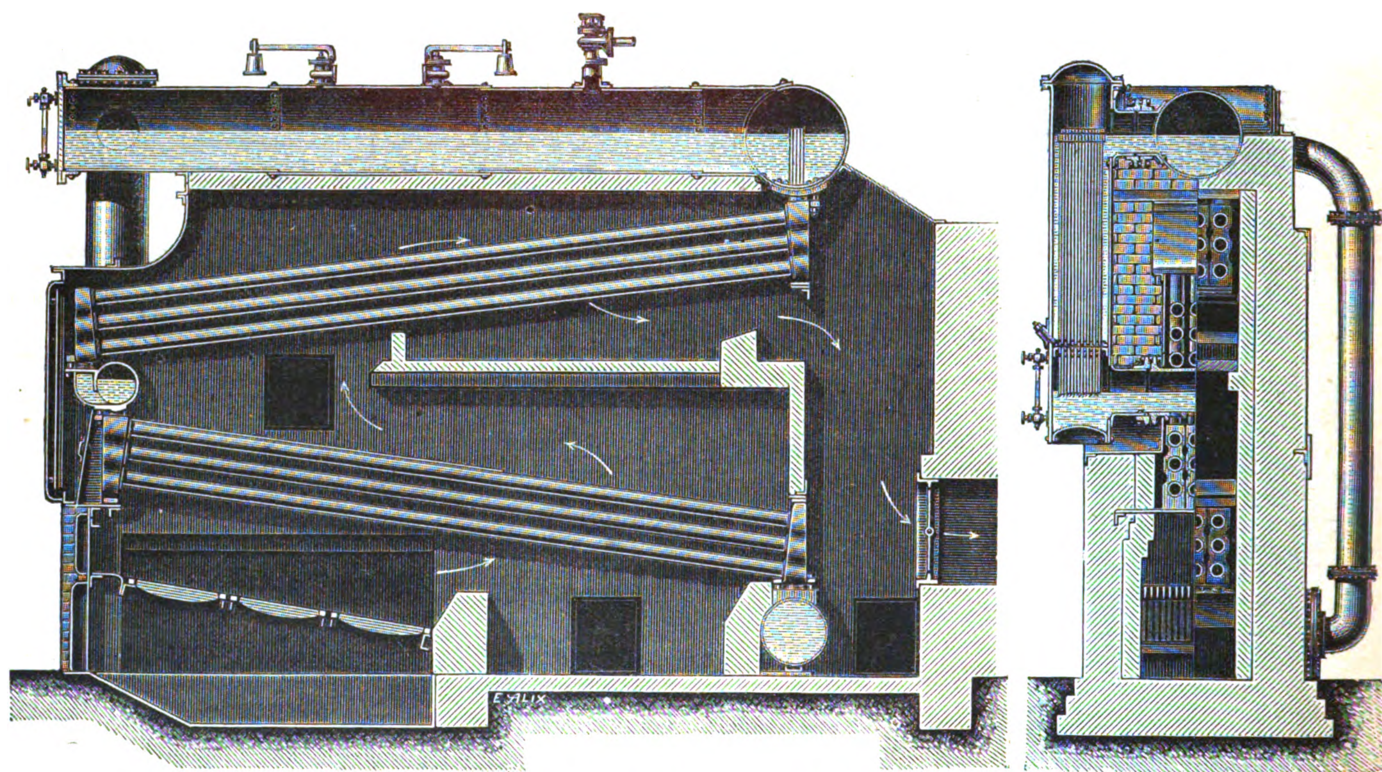


Fig. 3. — Montage d'une chaudière multitubulaire avec émulseurs.

La chaudière se composait (fig. 3) de deux groupes de tubes inclinés, l'un en dessus l'autre en dessous de l'horizontale, d'un corps cylindrique supérieur contenant de l'eau et de la vapeur, et d'un réservoir inférieur placé à l'arrière près du carneau allant à la cheminée.

La vapeur produite par les tubes du groupe inférieur est émulsée directement dans le corps cylindrique principal avec une partie de l'eau qui traverse ces tubes. L'autre partie, après avoir parcouru le groupe supérieur, est émulsée avec la vapeur qui s'y dégage au moyen de trois petits appareils placés dans les bagues de communication avec le réservoir transversal.

L'émulseur placé à l'avant se compose de 100 tubes de 15 mm. de diamètre intérieur, produisant une charge d'eau de 1,50 m. ; les émulseurs placés à l'arrière ont chacun 19 tubes de 19 mm. de diamètre intérieur, produisant une charge d'eau de 0,53 m.

Dans une première série d'essais à forte charge, le poids d'eau évaporé de 0° à 157° (pression 4,84 kg.) a été de 6,28 kg. par kg. de charbon net brûlé; et de 47,52 kg. par m² de

surface de chauffe. Dans la seconde série à charge normale, le poids d'eau vaporisé de 0° à 164° (6,5 kg. de pression) a été de 7,27 kg. par kg. de charbon brûlé et de 32,69 kg. par m² de surface de chauffe. Ces essais ont été faits sans réchauffeur.

Voici à titre de comparaison les résultats obtenus par M. Walter Meunier sur différents types de chaudières, sans circulation et sans réchauffeur.

Systèmes	Eau vaporisée par m² de chauffe et par heure.	Eau vaporisée par kg. de charbon brûlé.
Root	18,27	4,82
Belleville	16,	6,09
Babcock et Wilcox	13,	7,24
Dürr	12,74	6,25
Roser	11,38	5,85
De Naeyer	10,70	7,55

On voit que, comme il résulte déjà des essais précédents, l'avantage procuré par la circulation d'eau, réside surtout dans la possibilité d'obtenir une vaporisation spécifique très élevée, et par conséquent dans la sécurité très grande qui en résulte, plutôt que dans l'amélioration du rendement.

Ce sont des chaudières de ce type qui ont été installées dans des stations d'éclairage électrique, notamment à Dieppe et à Bordeaux. Les résultats obtenus étant de nature à intéresser spécialement les électriciens, nous les résumerons pour terminer cette note.

Les essais de Dieppe ont été faits sous le contrôle de M. Derry, directeur de la station.

Voici les caractéristiques des chaudières comparées :

	Avec émulseur.	Sans émulseur.
Durée des essais	8 h. 20 m.	8 h. 50 m.
Surface moyenne de chauffe	40 m²	72 m²
Surface moyenne de grille	2 m²	1,85 m²
Volume d'eau d'alimentation	8762 lit.	8700 lit.
Température de l'eau	9°	9°
Poids d'eau injectée	8742,3 kg.	8680,5 kg.
Pression moyenne de la vapeur	9 kg.	8,26 —
Température correspondante	179°	175,8°
Combustible employé	Cardiff, gailleterie.	Cardiff, gailleterie.
Poids total du charbon chargé	1240 kg.	1350 kg.
Déchets de grille, séchés	121 —	91,4 —
Poids du charbon brûlé	1119 —	1258,6 —
Température moyenne des gaz au foyer	865°	890°
Température en quittant les surfaces de chauffe	314°	368°

Le charbon brûlé a été, en moyenne :

Par heure et par m² de grille, net	67,2 kg.	77 kg.
— — chauffe, »	3,357 —	1,905 —

Les résultats ont été les suivants :

Poids d'eau vaporisée par heure et par m² de chauffe	26,13 —	13,07 kg.
Poids d'eau à 0° vaporisée à 158° par kg. de charbon net	7,78 —	6,86 —
Kilowatts produits par les dynamos	241,125 kw.	220 kw.
Chevaux-heures	409,5 ch.	373,6 ch.
Charge horaire moyenne en kilowatts par m² de chauffe	0,724 kw.	0,333 kg.
— — — en chevaux-vapeur —	1,187 ch.	0,566 ch.

Les dépenses correspondantes ont été :

Eau par kilowatt-heure	36,327 kg.	39,240 kg.
— cheval-heure	21,288 —	23,080 —
Charbon par kilowatt-heure, net	4,682 —	5,721 —
— cheval-heure, —	2,732 —	3,369 —

La consommation de 4,682 kg. de charbon par kilowatt produit s'applique au service courant de la station centrale. Elle est dans une bonne moyenne pour une distribution par courant continu; mais l'intérêt de ces essais ne réside pas seulement dans la consommation de charbon; celle-ci dépend d'un grand nombre de facteurs, ainsi que nous l'avons vu dans une étude publiée dans un volume précédent de ce journal (¹); les comparaisons faites entre deux usines ayant des services parfois très différents n'est donc pas toujours juste.

Il est préférable de comparer, comme dans les essais ci-dessus, les résultats obtenus dans la même station avec des services à peu près identiques. Cette comparaison amène les remarques suivantes.

1° La différence entre la température moyenne des gaz au foyer et à la température des gaz lorsqu'ils quittaient les surfaces de chauffe a été de 551° avec l'émulsion, et de 522° sans l'émulsion; et cela, malgré une combustion de charbon beaucoup plus considérable par mètre carré de surface de chauffe dans le premier cas que dans le second. Ce qui prouve une meilleure transmission de la chaleur et par suite une plus grande sécurité avec émulsion.

2° On a produit plus de vapeur avec une chaudière à émulseur ayant 40 m² de surface de chauffe qu'avec trois chaudières ordinaires ayant ensemble 74 m² de surface de chauffe; le combustible et le chauffeur étant les mêmes dans les deux expériences.

3° Par kg. de charbon brûlé, le volume d'eau vaporisé a été supérieur dans la chaudière à émulseur à celui des autres.

4° La quantité de vapeur nécessaire à la production d'un même travail moteur a été moins considérable avec l'emploi de la chaudière à circulation d'eau qu'avec l'emploi de la chaudière ordinaire. Il a fallu, en effet, 36,527 kgs. de vapeur émulsée pour produire, chez les abonnés de la station de Dieppe, un kilowatt-heure et 39,240 kg. de vapeur non émulsée pour fournir le même résultat. Ce qui démontre que la vapeur était plus sèche dans le premier cas que dans le second.

5° Le changement de chaudières a finalement procuré une économie appréciable de combustible.

Les essais faits à Bordeaux conduisent à des conclusions analogues. La vaporisation a dû être modérée pour ne pas dépasser la puissance nécessaire à l'usine, elle correspond à un poids d'eau horaire de 24,952 kgs., de 0° à 158° C., par mètre carré de chauffe, et de 7,812 kgs par kg net de charbon brûlé, en service courant de station centrale.

Pour obtenir le même service, il fallait, avant, allumer trois chaudières ordinaires, d'une surface de chauffe totale de 420 m²; deux, soit 280 m² de chauffe, auraient pu suffire à la rigueur; la surface totale de chauffe des deux chaudières à circulation d'eau établies à Bordeaux n'est que de 120 m².

En résumé, ces chaudières nous ont paru présenter un intérêt assez considérable en raison de la sécurité absolue qu'elles permettent d'obtenir, de la simplicité des moyens mis en œuvre, ce qui est une garantie de bon fonctionnement, et enfin des avantages économiques qu'elles présentent.

Dans un prochain article, nous continuerons la revue des appareils exposés à Bordeaux.

G. PELLISSIER.

(¹) Voir *La Lumière Electrique* des 10 et 17 septembre 1892.

LA THÉORIE ÉLECTROMAGNÉTIQUE
DE LA LUMIÈRE
ET L'ABSORPTION CRISTALLINE (¹)

VIII

Comment déduire le coefficient d'absorption k relatif à une onde donnée des coefficients qui seraient relatifs aux trois directions principales?

(¹) Voir l'*Eclairage Electrique* du 3 août, p. 193, et 24 août, p. 332.

Le résultat est extrêmement simple dans le cas où la biréfringence est négligeable (je ne dis pas *l'anisotropie dans l'asorption*, je dis simplement *l'anisotropie dans l'élasticité optique*).

Nous avons vu (VII) que si l'on prend pour plan des xy, le plan de l'onde et pour directions Ox et Oy, les directions des deux déplacements électriques susceptibles d'être transmis par cette onde, on a, pour la longueur d'onde et pour le coefficient d'absorption de l'onde qui transmet cette vibration Ox, les deux relations (18)

$$l^2 = \frac{A^2\mu\beta^2}{e_{11}},$$

et

$$-2kle_{11} = 4\pi A^2\mu\beta(\lambda_{11}e_{11} + \lambda_{12}e_{12} + \lambda_{13}e_{13}).$$

Si le milieu est isotrope *au point de vue de l'élasticité optique*, on a :

$$e_{11} = e_{22} = e_{33} = e$$

et

$$e_{12} = e_{13} = e_{23} = 0,$$

Donc la seconde de nos équations se réduit à :

$$-2kl = 4\pi A^2\mu\beta\lambda_{11}$$

d'où

$$k = C\lambda_{11},$$

C étant pour le cristal donné, une constante indépendante de la direction.

Appelons maintenant λ, λ', λ'' les trois coefficients λ relatifs aux trois directions principales, et x, x', x'', les coefficients d'absorption correspondants. Si α, β, γ sont les cosinus directeurs des angles que fait l'axe Ox avec ces trois directions principales, on a :

$$\lambda_{11} = \lambda\alpha^2 + \lambda'\beta^2 + \lambda''\gamma^2.$$

Il suffit de faire un changement d'axes coordonnés dans les formules générales pour s'en convaincre.

Il en résulte

$$k = x\alpha^2 + x'\beta^2 + x''\gamma^2.$$

D'où l'on conclut que $\frac{1}{\sqrt{k}}$ *est le rayon vecteur, dans la direction de la vibration considérée, d'un ellipsoïde ayant respectivement pour demi-axes* :

$$\frac{1}{\sqrt{x}}, \quad \frac{1}{\sqrt{x'}}, \quad \frac{1}{\sqrt{x''}}.$$

La connaissance de cet *ellipsoïde d'absorption*, ayant pour équation :

$$xx^2 + x'y^2 + x''z^2 = 1,$$

permet de trouver le coefficient d'absorption relatif à une vibration de direction quelconque donnée.

Dans le cas d'un ellipsoïde de révolution, qui se présente pour les cristaux uniaxes, on aurait simplement, en appelant ω l'angle de la vibration avec l'axe optique :

$$k = x_o \sin^2\omega + x_e \cos^2\omega,$$

x_o et x_e étant les coefficients d'absorption d'un rayon ordinaire, et d'un rayon extraordinaire dont la vibration est parallèle à l'axe.

Les nombres de M. Camichel sur la tourmaline sont bien d'accord avec cette formule.

Mais la formule, ne l'oublions pas, n'est qu'approchée, et ne convient qu'aux cristaux peu biréfringents. Pour les cristaux très biréfringents, on ne pourrait plus négliger les termes en e_{12} et e_{13}, dès lors on aurait des résultats plus complexes. L'analyse précédemment donnée permettrait le calcul complet pour un cristal dont on connaîtrait tous les coefficients caractéristiques de l'élasticité optique et de l'absorption. M. Carvallo et M. Moreau ont donné, pour le cas des cristaux uniaxes, deux formules qui sont différentes, et qu'il y aurait lieu de comparer avec les conséquences de l'analyse précédente.

IX

L'ellipsoïde d'absorption, précédemment défini, aura pour axes principaux, les axes principaux du cristal, s'il appartient au système orthorhombique; en ce cas ils coïncideront naturellement avec les axes de l'ellipsoïde d'élasticité optique.

Mais dans le système triclinique, les trois

axes d'élasticité n'ont pas des directions identiques pour les diverses couleurs; rien d'étonnant à ce que le trièdre des axes principaux d'absorption ne coïncide avec aucun d'eux. Et en général, en effet, les deux ellipsoïdes de pouvoir diélectrique et de conductibilité, auront, l'un par rapport à l'autre, une orientation quelconque. L'étude d'un cristal triclinique absorbant sera en général très compliquée.

Le cas intermédiaire, du cristal clinorhombique, sera plus aisément susceptible d'étude expérimentale, et en même temps il permettra de vérifier la non-coïncidence des deux systèmes d'axes. Ici il y a un axe de symétrie cristalline, l'axe binaire. Cet axe sera un axe principal pour l'un et l'autre des deux ellipsoïdes. Dans le plan perpendiculaire, les deux systèmes d'axes rectangulaires de l'ellipsoïde d'élasticité et de l'ellipsoïde d'absorption seront généralement différents.

M. Camichel a particulièrement étudié l'épidote. Prenons une plaque taillée perpendiculairement à la *bissectrice obtuse des axes optiques*, laquelle est un des deux axes de l'ellipsoïde d'élasticité qui sont dans le plan perpendiculaire à l'axe de symétrie. On observe que si l'on incline cette lame d'angles égaux à droite et à gauche de la normale, par rapport au faisceau lumineux, on n'obtient pas la même absorption. L'absorption maxima et l'absorption minima ne sont pas obtenues, pour une lame d'épaisseur donnée, et normale au faisceau, quand la lame est taillée perpendiculairement à l'une des deux bissectrices aiguë et obtuse. En prenant deux lames perpendiculaires aux deux bissectrices, on peut vérifier que l'absorption sous diverses inclinaisons satisfait bien à la loi de l'ellipsoïde, et que le coefficient k peut être représenté par une formule telle que :

$$k_\omega = k_0 \cos^2 \omega + k_{90} \sin^2 \omega + 2m \sin \omega \cos \omega,$$

k_0 et k_{90} étant les coefficients d'absorption relatifs à des vibrations dirigées suivant les deux bissectrices aiguë et obtuse, k_ω le coefficient d'absorption pour une vibration également perpendiculaire à l'axe de symétrie binaire mais faisant l'angle ω avec la bissectrice aiguë. m est un coefficient qui dépend de l'inclinaison du système des deux bissectrices sur le système des deux principaux axes d'absorption : la formule précédente suffit à prouver que ces deux axes principaux sont rectangulaires, ce que soutenait M. Drude, mais ce qu'avait contesté M. Ramsay.

L'épidote, étudiée à la lumière jaune du sodium, donne des résultats concordant tout à fait avec la formule, et de la formule on déduit même qu'un des axes principaux d'absorption, celui d'absorption minima, fait avec la bissectrice obtuse un angle de $+ 18° 15'$. M. Camichel a taillé une lame d'épidote perpendiculaire à cette direction inclinée de $18° 15'$ sur la bissectrice obtuse, et une autre perpendiculaire à la première : il a trouvé que pour ces deux lames, l'absorption de rayons inclinés à droite ou à gauche de la normale est parfaitement symétrique.

C'est la preuve que la biréfringence, ici encore, est assez faible pour que la théorie « de l'ellipsoïde d'absorption » rende très bien compte des résultats.

X

Il s'agit, avec l'épidote, d'un cristal coloré *chimiquement*, coloré *naturellement*. Les deux ellipsoïdes n'ont pas alors même direction d'axes.

Qu'arrive-t-il si l'on a un cristal artificiellement coloré? M. Camichel a expérimenté sur le sel de Sénarmont qui est de l'azotate de strontiane, et qui est clinorhombique. Il est transparent quand il est pur; il devient coloré et dichroïque quand on le fait cristalliser dans une dissolution saturée de bois de campêche. On observe qu'alors *l'absorption de la vibration située dans le plan de symétrie se fait symétriquement par rapport aux axes d'élasticité optique.*

Ici la conductibilité que ne possédait pas naturellement le milieu anisotrope lui est communiquée par l'introduction d'une subs-

tance étrangère, dénuée elle-même de symétrie : la disposition de cette substance nouvelle dans l'édifice moléculaire qui constitue le cristal se fait conformément à la symétrie déjà existante : et les directions qui étaient principales pour le pouvoir diélectrique restent des directions principales pour le pouvoir conducteur nouvellement acquis. Au contraire, un cristal comme l'épidote, qui est partiellement conducteur par sa constitution même, possède une conductibilité qui a sa symétrie propre, indépendante de la symétrie du pouvoir diélectrique.

Là encore, le langage de la théorie électromagnétique est particulièrement simple pour énoncer les résultats de l'expérience.

XI

Un point important, qui n'a encore, à ma connaissance, été abordé dans aucune étude antérieure relative à l'absorption cristalline, est celui de savoir *dans quelles limites peut varier le coefficient d'absorption pour que les lois simples qu'on a énoncées soient rigoureusement applicables.* Nous avons dit qu'il suffisait, pour établir tous nos résultats, d'admettre que k^2 était négligeable.

Peut-on négliger k^2 dans les cristaux dichroïques que nous offre la réalité?

Je vais montrer que cette approximation est légitime même avec des tourmalines fort absorbantes, même quand on considère le rayon ordinaire qui y est complètement éteint après une traversée de 1 millimètre de cristal.

Nous avons vu qu'après la traversée d'une épaisseur z, comptée normalement à l'onde, le déplacement a été multiplié par le facteur

$$e^{hz} = e^{-kz} e^{ilz},$$

l est donc lié à la longueur d'onde λ suivant cette direction par la relation

$$l = \frac{2\pi}{\lambda}.$$

On peut de même donner au coefficient k la forme ;

$$k = \frac{2\pi}{p}.$$

Le déplacement est alors multiplié par

$$e^{-2\pi\frac{z}{p}} e^{2i\pi\frac{z}{\lambda}}.$$

L'intensité est multipliée par

$$e^{-4\pi\frac{z}{p}} e^{4i\pi\frac{z}{\lambda}}.$$

Dire que $\frac{k^2}{l^2}$ est petit, c'est dire que $\frac{p^2}{\lambda^2}$ est grand. Quelle est la signification physique de p ? Faisons $z = p$: le module de l'intensité est multiplié par $e^{-4\pi}$; p est donc l'épaisseur de cristal que l'onde doit traverser pour que l'intensité soit réduite à la fraction $\frac{1}{e^{4\pi}}$ de sa valeur; c'est-à-dire à la fraction $\frac{1}{286000}$ de sa valeur.

Il suffit donc que l'épaisseur de cristal à traverser avant que la lumière soit affaiblie au point d'être réduite à 1/286 000 de son intensité, *comprenne un grand nombre de longueurs d'onde,* et un nombre assez grand pour que l'inverse de son carré soit négligeable.

Considérons la tourmaline qui, sous une faible épaisseur, est absolument opaque pour le rayon ordinaire, assez pour pouvoir servir de polariseur. M. Camichel a déterminé pour quelques échantillons le coefficient d'absorption relatif au rayon ordinaire.

Expérience sur une tourmaline *brune très absorbante* (1) plongée dans le sulfure de carbone (épaisseur $0^{mm},463$). Lumière jaune du sodium.

On trouve ici pour le coefficient de transmission de la vibration ordinaire.

$$C_{90} = \left(\frac{I}{I_0}\right)_{90} = 0{,}000\,000\,582.$$

Ce qui est environ $\frac{1}{2\,000\,000}$. L'intensité est réduite au 1/2 000 000 pour 1 demi-millimètre environ. En prenant ce nombre comme rigoureusement exact, on trouverait qu'il faut au moins 4 dixièmes de millimètre pour réduire

(1) CAMICHEL, *loc. cit.*, p. 36.

l'intensité au 1/286 000 de sa valeur initiale. Or 4 dixièmes de millimètre représentent 7 ou 800 longueurs d'onde.

Donc, dans la tourmaline *très absorbante* dont il s'agit, nos résultats seraient exacts à condition de négliger les termes de l'ordre de $\frac{1}{700^2}$. Les vibrations inclinées pourraient être non rigoureusement rectilignes, mais elliptiques, le rapport du petit axe au grand ne dépassant pas $\frac{1}{700}$.

Pour une autre tourmaline, verte, d'épaisseur $1^{mm},873$, on a trouvé comme coefficient de transmission du rayon ordinaire

$$\left(\frac{I}{I_0}\right)_{90} = 0,0050$$

p serait ici égal à 4 ou 5 millimètres, c'est-à-dire à près de 10 000 longueurs d'onde. Cette tourmaline pourrait encore servir de polariseur, et l'on voit que, pour elle, aucun procédé pratique ne permettrait de déceler un écart aux lois simples qui ont été obtenues : à savoir, vibration rectiligne, et coefficient d'absorption calculable par la règle de l'ellipsoïde, ce dernier résultat n'étant d'ailleurs rigoureux qu'autant que l'on peut négliger la biréfringence optique (1).

BERNARD BRUNHES
Chargé de cours à la Faculté des sciences de Dijon.

(1) Depuis la publication aux *Comptes rendus* de ma Note résumant les résultats que je développe dans la présente étude, a paru encore dans les *Annales de Wiedemann* un Mémoire théorique sur l'absorption cristalline. Il est dû à M. Ketteler et a pour titre « Die Gesetze der Lichtbewegung in absorbirenden Krystallen (*Ann. de Wiedemann*, t. LV, p. 540). Je me contente de le signaler après ceux de M. Carvallo et de M. Moreau. A cette occasion, je rappelle, ainsi que M. Ketteler le fait observer, qu'il a introduit depuis longtemps dans l'étude des théories élastiques de la lumière, la considération simultanée de la vibration de Neumann, parallèle au plan de polarisation, et de deux vibrations perpendiculaires à celle-ci, l'une perpendiculaire à la normale d'onde, la vibration de Fresnel, et l'autre perpendiculaire au rayon ; et qu'il appelle *vibration de Ketteler*. Ces deux vecteurs sont le déplacement et la force électriques.

REVUE

DE LA PRESSE INDUSTRIELLE

ET DES INVENTIONS

Communication électrique entre la côte et les bateaux-phares (1).

On met à l'essai en Angleterre un système permettant d'échanger, entre les bateaux-phares ancrés à quelque distance de la côte et cette dernière, des signaux électriques. L'appareil est dû à M. Evershed, et utilise les phénomènes d'induction.

Dans la figure 1, on voit en B le bateau qui évolue à l'intérieur du cercle A. Celui-ci est

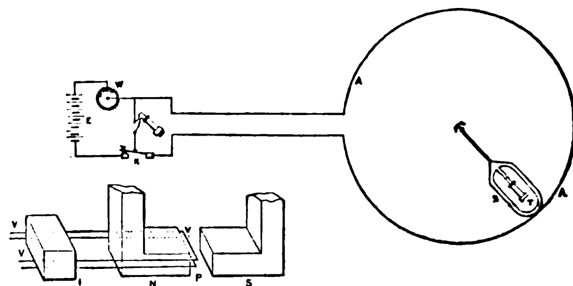


Fig. 1 et 2.

tracé par un câble posé au fond de la mer et communiquant avec le rivage. Un circuit secondaire formé de 50 tours de fil est disposé sur le bateau et comprend un téléphone T. S'il entre beaucoup de fer dans la construction du bateau, ce circuit doit être disposé extérieurement à la coque.

A l'aide d'une clef K et d'un interrupteur W, on envoie dans le câble sous-marin des courants intermittents à plusieurs milliers d'interruptions par seconde. Par induction, des courants alternatifs sont donc produits dans le téléphone récepteur, où ils produisent un son déterminé. En donnant aux émissions de courant plus ou moins de durée, on peut transmettre les signaux de l'alphabet Morse.

La difficulté dans ce système était la produc-

(1) D'après *Engineering*.

tion de l'appel. M. Evershed l'a résolue très ingénieusement en combinant le relais cumulatif que schématise la figure 2. Un rectangle de fil V est pincé dans un support isolant I. Un côté du rectangle se trouve entre les pôles N et S d'un puissant aimant, et quand le rectangle donne passage à des courants alternatifs dont la période correspond à sa propre période de vibration, le fil reçoit une série d'impulsions, qui, en s'ajoutant, le font vibrer de plus en plus énergiquement (¹). Ce mouvement l'amène en contact avec un rectangle semblable P, accordé à l'unisson avec V. Le circuit local d'une sonnerie se ferme alors, et produit l'appel. On emploie deux rectangles semblables, pour éviter les contacts accidentels que pourraient produire des chocs mécaniques. Le second rectangle peut d'ailleurs également être traversé, mais en sens opposé, par le même courant alternatif. La fréquence la plus convenable pour le courant d'appel est de 20 à 40 périodes par seconde. A. H.

Conduite souterraine Hoerde pour tramway électrique (²)

La conduite est disposée, comme le représente la figure 1, sous un des rails de la voie; ce rail est supporté à intervalles de 1 m. 50 environ par des châssis estampés dans des feuilles de métal et ondulées pour plus de rigidité (fig. 4). Entre ces châssis, la conduite est armée de feuilles métalliques épaisses de 4 mm. et qui sont également ondulées (fig. 2 et 3). Ces plaques sont fixées au rail de roulement et au rail de garde par des boulons; elles sont boulonnées ensemble à leur partie inférieure. Le rail de garde (fig. 1) est composé de fers cornières fixés à des pièces de fonte boulonnées aux châssis de la même façon que le

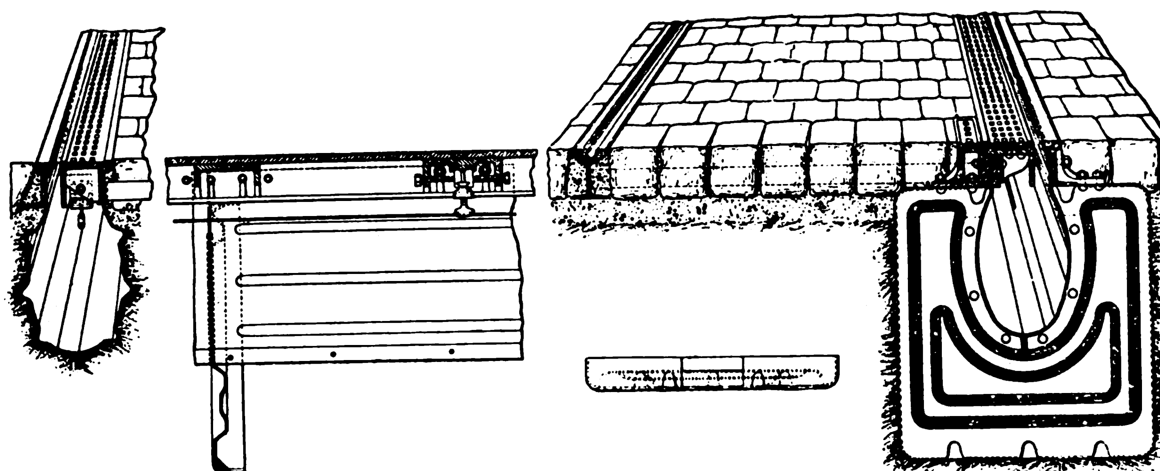


Fig. 1, 2, 3 et 4.

rail; une fente d'une largeur suffisante pour le passage du trôlet est maintenue entre le rail et le contre-rail.

Le conducteur est suspendu en-dessous de ce dernier par des isolateurs (fig. 2 et 3). Le collecteur de courant est du type à trôlet à roulement inférieur. L'isolement est assuré par l'emploi de la fibre vulcanisée.

La figure 5 montre la disposition pratique adoptée. Le conducteur est à une hauteur assez grande au-dessus du fond de la conduite, afin d'éviter qu'il puisse être inondé, même en temps d'orage. Sa disposition sous le rail de garde assure sa protection mécanique. En courbe, le rail et le contre-rail sont convena-

(¹) Nous rappellerons à ce propos le téléphone optique de Max Wien, basé sur le même principe. (*La Lum. Elect.*, t. XLI, p. 185.)

(²) *Engineering*, 23 août 1895, p. 253. Voir l'*Eclairage Electrique* du 23 février 1895, p. 363.

blement courbés, mais il est inutile de courber les armatures métalliques de la conduite qui sont posées en tangentes à la courbe; des pièces en fonte de fer affectant la forme de coins, servent à leur donner un support suffisant sur les châssis qui sont disposés naturellement suivant le rayon de courbe.

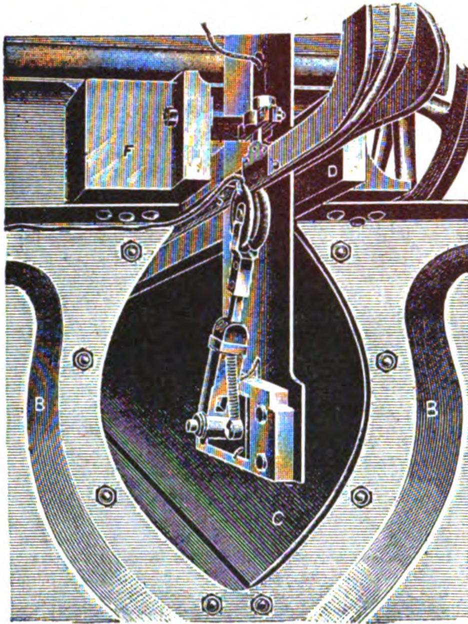


Fig. 5.

Le prix de cette conduite serait d'environ 68 000 francs le kilomètre, et la pose en serait aussi simple que celle d'une canalisation d'eau. G. P.

Procédé Malignani, pour obtenir le vide dans les lampes à incandescence, par A. Casanova.

L'*Electricità*, de Milan, donne les renseignements suivants sur ce procédé qui paraît enthousiasmer le rédacteur.

On commence par introduire dans le tube pour l'évacuation de l'air, un peu d'un composé chimique spécial; on applique ensuite la lampe sur la pompe à air; au bout de 20 secondes on lance le courant, puis après 10 ou 15 secondes d'allumage, on soude le tube, ce qui supprime toute communication avec la pompe. Les gaz qui se sont dégagés du filament pendant le passage du courant remplissent l'ampoule; la pression est alors d'environ un demi-millimètre de mercure; c'est la limite pratique du vide que peut produire la pompe. Sitôt que la communication avec la pompe a été coupée, on rallume la lampe et, avec un jet de gaz, on chauffe le tube de verre au point où se trouve la composition chimique ci-dessus mentionnée. Les vapeurs qui se dégagent alors font précipiter à l'état solide les vapeurs spéciales émanées du filament, et produisent un vide parfait dans l'ampoule. Toute l'opération dure environ une minute. On peut traiter couramment 45 lampes au moins dans une heure.

Le vide chimique paraît donner d'excellents résultats et la lumière fournie par la lampe diminue d'éclat plus lentement qu'avec les autres procédés. Son plus grand avantage est de supprimer l'emploi du mercure. La pompe se compose de trois corps. Le premier fait le vide dans l'espace nuisible du second et celui-ci dans l'espace nuisible du troisième, qui communique avec la lampe. Une pompe de ce genre permet d'obtenir un vide de 1/20 de millimètre de mercure.

Les renseignements contenus dans cette note sont trop incomplets pour qu'on puisse se faire une opinion sur la valeur du procédé; nous y reviendrons s'il y a lieu.

G. P.

Traction électrique à conducteur souterrain, système A. Diatto.

Nous venons de recevoir une brochure descriptive de ce système, qui appartient à la classe des contacts superficiels, à commutateur magnétique.

Le truck porte, à sa partie inférieure, une bande de fer A (fig. 1 et 4) d'une longueur à peu près égale à celle de la voiture. Cette lame est aimantée par des électro-aimants M, excités en dérivation sur le circuit du moteur E. Sa suspension n'est pas rigide, mais permet des déplacements verticaux et longitudinaux; la figure 4 en donne le détail.

Les boîtes de contact sont disposées dans le sol, entre les deux rails ; la distance qui sépare deux boîtes consécutives est un peu inférieure à la longueur de la lame A, afin que celle-ci

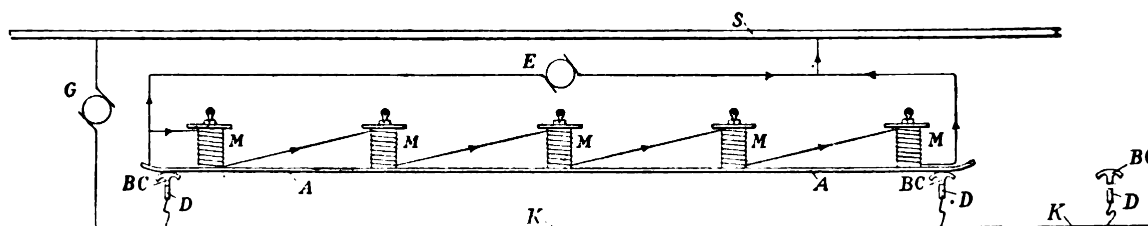


Fig. 1.

frotte toujours sur au moins un des contacts. Lorsque les électro-aimants sont excités, la pièce supérieure C, en fer (fig. 2 et 3), qui est en contact avec la lame A, s'aimante et attire la tige D placée à l'intérieur de la boîte et qui plonge dans une coupe R, en partie pleine de mercure q, et montée en dérivation sur le câble K. Le contact s'établit alors entre C et D, et le

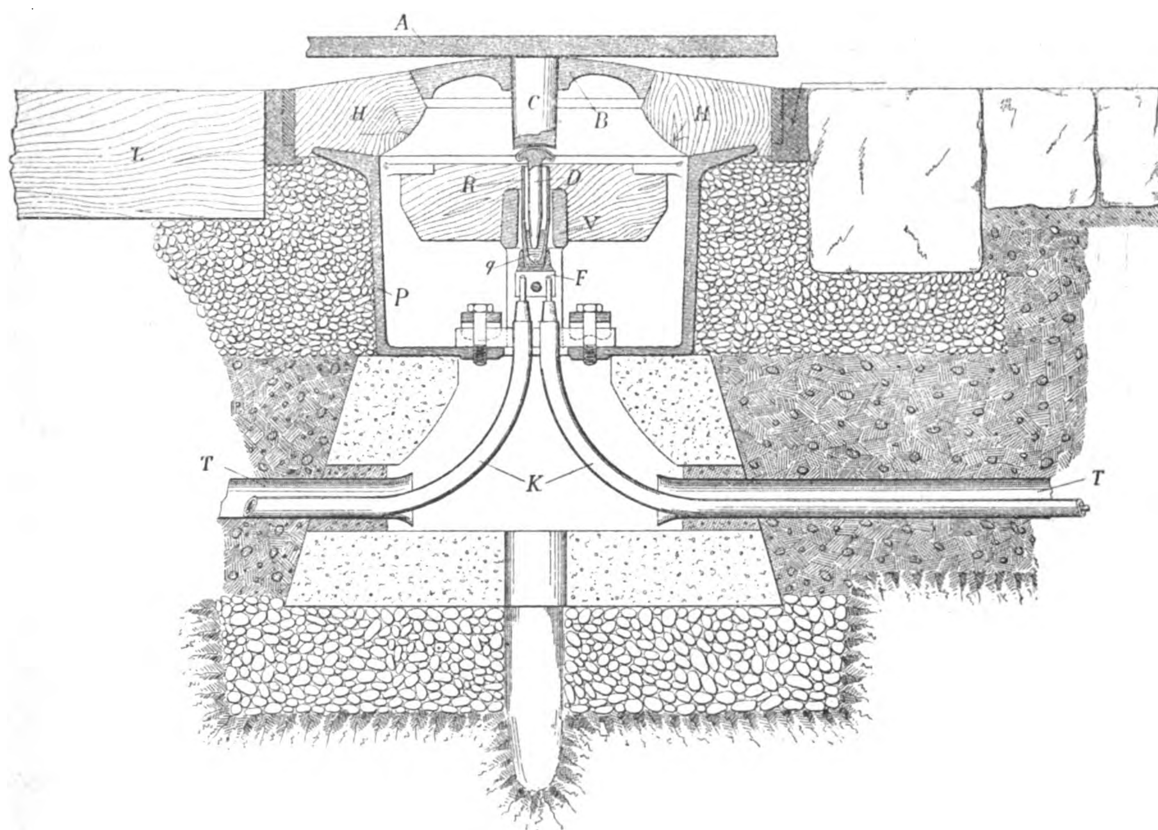


Fig. 2.

courant passe par la lame A, aux moteurs. L'emploi du mercure a pour but d'assurer un bon contact et d'équilibrer à peu près le poids de la tige D, de façon à réduire la force d'attraction nécessaire pour la soulever. Il doit être en quantité telle que la tige D puisse retomber par son propre poids lorsqu'elle a été soulevée. Pour éviter que le magnétisme rési-

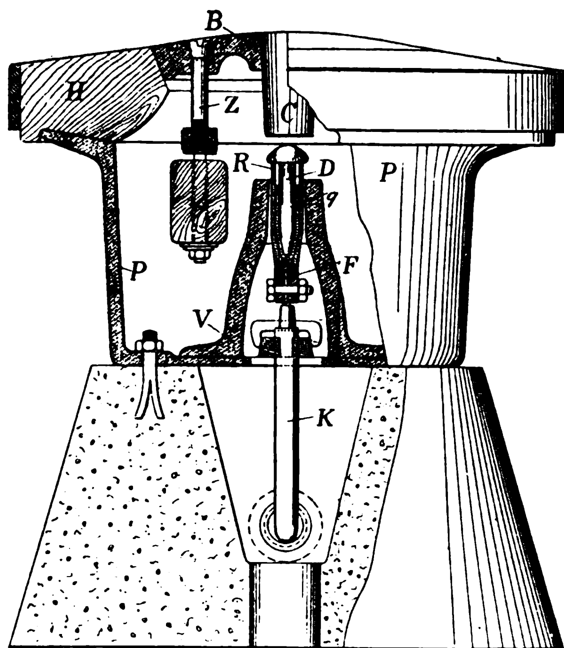


Fig. 3.

duel ne maintienne l'adhérence entre C et D, les surfaces en contact de ces deux pièces sont recouvertes d'une substance non magnétique.

Le conducteur K est divisé en tronçons de longueur égale à l'intervalle de deux boîtes consécutives, et les deux extrémités de chaque tronçon sont fixées sur la culasse des coupes à mercure B; le conducteur est placé dans le sol à l'intérieur de tubes en fer T. Ce mode de montage permet de localiser facilement les fautes et de remplacer la partie de câble défectueuse sans excaver le sol.

L'isolement de la coupe R et du contact B est assuré par les pièces de bois H et V, enduites de produits hydrofuges. Les essais effectués sur une voie expérimentale depuis plusieurs mois ont démontré que cet isolement est suffisant, même lorsque le sol est recouvert de boue ou de neige; le retour se faisant par les rails, l'isolement est une condition essentielle.

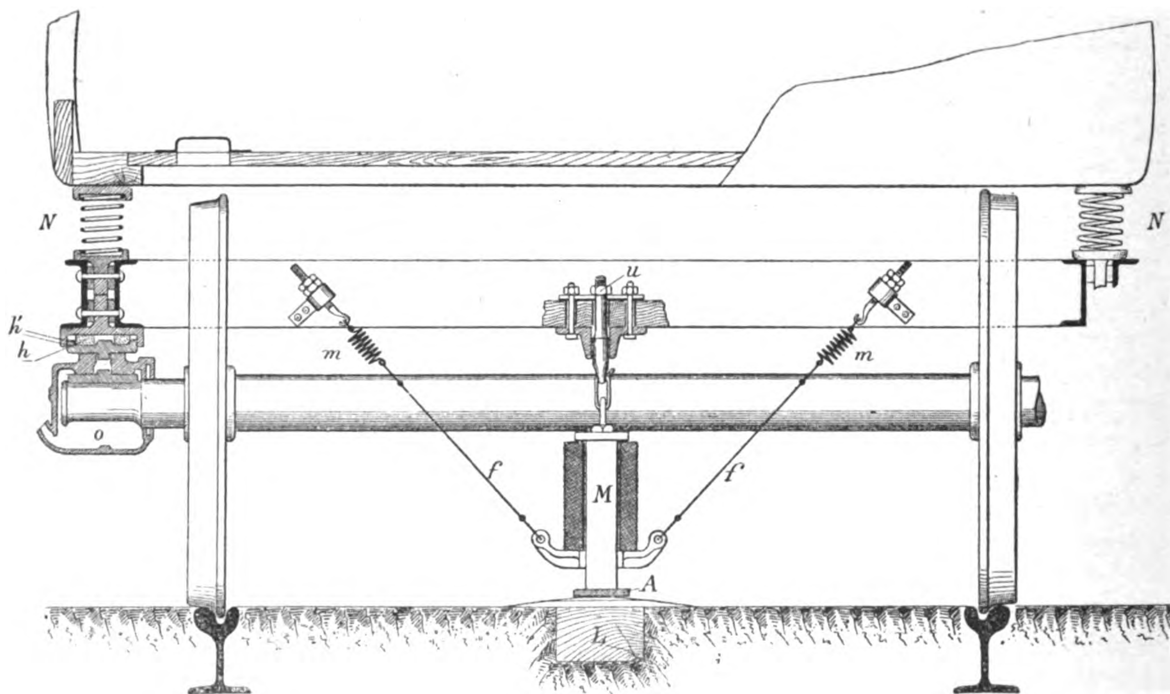


Fig. 4.

Il est encore augmenté en plaçant toute la boîte dans l'asphalte.

La saillie des boîtes de contact au-dessus du sol n'est que de 3,5 cm., et, en raison de leur forme bombée, les voitures ordinaires peuvent passer sur elles sans inconvénient.

L'inventeur estime que les frais d'installation de ce système seraient de 17 à 24 000 francs par kilomètre de voie simple ; cette estimation nous paraît de beaucoup trop faible.

L'excitation des électro-aimants M, en dérivation sur le circuit des moteurs paraît défectueuse, car elle nécessite une disposition spéciale pour la mise en train.

Le poids des électro-aimants M et de la barre de contact est de 200 kgs ; l'énergie électrique nécessaire à leur excitation est de 250 watts. G. P.

REVUE DES SOCIÉTÉS SAVANTES ET DES PUBLICATIONS SCIENTIFIQUES

Notes sur les accumulateurs « secs » par Fitzgerald.

Il fut un temps où l'on prétendait que l'introduction de la moindre longueur de fil fin dans le circuit d'un câble transatlantique pouvait être nuisible à son bon fonctionnement. En dépit de la loi d'Ohm déjà connue, le conducteur devait, disait-on, présenter la même section sur toute sa longueur.

Plus récemment, quand M. Fitzgerald enserra des plaques d'accumulateurs dans une enveloppe de celluloïd perforée, on ne manqua pas de s'écrier que, si l'enveloppe n'était pas perforée, sa résistance serait infinie, et que, même perforée sur la moitié de sa surface, elle opposait encore une résistance double de celle que présenterait l'élément sans cette enveloppe. Or, si la première de ces deux propositions est exacte, la seconde est erronée.

C'est la résistance d'une seule couche de l'électrolyte (parmi toutes celles qui se succèdent) qui serait réduite de moitié par la suppression de l'enveloppe isolante supposée perforée sur la moitié de sa surface ; et, inversement, l'introduction de la substance ainsi perforée double la résistance d'une couche seulement de l'électrolyte.

Dans le cas, par exemple, d'une masse prismatique d'électrolyte de section S et de longueur *nl* (entre électrodes), on peut exprimer la résistance de cet électrolyte par

$$r = \rho \frac{nl}{S},$$

ρ représentant sa résistivité.

Or, sans être mathématicien, on voit que, si l'on introduit verticalement en un point quelconque entre les électrodes une cloison isolante d'épaisseur l et originairement de section S, actuellement réduite à $S - \frac{S}{m}$, de manière à laisser une section *liquide* $\frac{S}{m} = s$ pour le passage du courant, la résistance primitive sera portée à

$$R = \rho \left[\frac{(n-1)\,l}{S} + \frac{l}{s}\right],$$

qui montre que, si l'on fait $n = 100$ et $m = 2$, l'augmentation de résistance correspondante n'est que de 100 à 101.

Il est vrai toutefois que, si la cloison imperméable était appliquée *immédiatement* sur une électrode également imperméable, l'augmentation de résistance serait bien supérieure. Mais ce n'est pas le cas, la cloison étant appliquée sur un dépolarisant poreux saturé par l'électrolyte.

On peut d'ailleurs faire observer qu'une plaque peroxydée convenablement construite ne donne lieu à aucune « chute » de matière active sous forme de poudre fine ou de boue. Le frottement d'une plaque avec le doigt ne produit pas plus d'effet sur elle que sur une ardoise, comme le sait quiconque a manié une plaque de lithanode bien faite.

« Quand j'ai cessé, dit M. Fitzgerald, mes essais avec l'enveloppe perforée, ce n'est pas que je redoutasse de son fait une augmentation très appréciable de résistance ; mais j'entrevoyais alors la possibilité de construire un élément à conducteur noyé dans la matière active (permettant une décharge rapide) sans recourir à aucun expédient pour prévenir la désagrégation des plaques. Si je n'ai pas encore mis cette idée à exécution, c'est que,

depuis un certain temps, il m'a semblé indispensable, dans les cas exigeant une grande intensité de décharge, comme dans la traction électrique, d'employer, conjointement avec l'électrolyte acide, un absorbant, électrolytique en lui-même (autrement il présenterait trop de résistance), de manière à réaliser un accumulateur sans liquide ou « sec ». On éviterait ainsi les débordements et les éclaboussures de l'électrolyte, le gondolement des plaques et la perte de matière active par rupture ou clivage. »

La principale difficulté dans cet ordre d'idées était de rendre l'absorbant suffisamment conducteur. M. Fitzgerald paraît l'avoir aujourd'hui surmontée.

L'auteur publie en effet quelques notes de laboratoire relatives à l'étude de ce nouvel accumulateur « sec » à faible résistance. Il les qualifie cependant lui-même de prématurées; les expériences demandent encore à être poursuivies pendant un certain nombre de mois, de manière à permettre des conclusions décisives au point de vue pratique. Aussi, en savant prudent, est-il le premier à décliner toute discussion pour ou contre, ou, tout au moins, sur les résultats plus ou moins favorables obtenus jusqu'ici. Il constate toutefois que ses expériences minutieuses, poursuivies sur une très petite échelle pendant un grand nombre de mois, l'ont conduit à des résultats plus favorables dans leur ensemble que ceux aujourd'hui publiés. Ces derniers résultats lui semblent indiquer qu'on a eu tort de trop restreindre l'acidité du contenu de l'élément « sec ». Il ajoute, d'autre part, que rien ne lui paraît, à première vue, avoir jamais été publié ou obtenu qui se rapproche de ces résultats. Les accumulateurs secs antérieurs ont généralement brillé par leur absence de courant, et, sans parler d'une décharge deux fois aussi rapide, il a été communément impossible d'en obtenir le « débit maximum » annoncé par leurs constructeurs.

Les expériences ont été conduites sur des accumulateurs (E 7) de l'E.P.S.C°, au repos, c'est-à-dire qu'ils n'ont été soumis à aucun choc ni trépidation. Elles ont été faites comparativement sur deux types, l'un (A) employé tel qu'il avait été envoyé (chargé) par l'E.P.S.C° et pesant 11,250 kg.; l'autre (B) transformé suivant le système Fitzgerald, l'acide habituel étant remplacé par un absorbant saturé de l'électrolyte et présentant l'aspect d'un gâteau sec; il pesait 11,850 kg.

Suivant les instructions de l'E.P.S.C°, le débit maximum de charge était de 12 ampères et le débit maximum de décharge de 13 ampères.

Les instructions pour la charge ayant été toujours exactement suivies, on a poussé successivement le débit de décharge jusqu'à 20 et 30 ampères pendant des périodes relativement assez longues, une heure étant considérée, au point de vue économique et pratique, comme la durée maxima d'une course de tramway sans renouvellement des accumulateurs.

Sans nous attarder, pour aujourd'hui du moins, aux chiffres nombreux fournis par les premiers essais déjà prolongés, nous nous bornerons à répéter avec l'auteur qu'ils paraissent des plus encourageants.

L'élément ordinaire (A) a cédé à ce régime forcé; les éléments (B) sont toujours en cours d'expériences. Quant à la question de savoir s'ils se sont désagrégés plus ou moins rapidement que les éléments (A), on ne peut s'en rapporter jusqu'à nouvel ordre qu'à l'apparence et à la manière dont ils continuent à se comporter. Dans ces éléments (B), les plaques sont d'ailleurs si étroitement emprisonnées dans la matière absorbante qu'on se figure difficilement comment elles pourraient se désagréger.

L'entrave apportée à la circulation de l'électrolyte dans l'élément « sec » est une des difficultés les plus grandes auxquelles on se heurte dans cette voie. Un repos d'une minute de temps à autre, s'il était possible, produirait une rémittence plus favorable à la mystérieuse fatigue d'un tramcar électrique qu'à celle des malheureux chevaux ordinairement attelés à la voiture. Il est en effet

curieux de constater avec quelle rapidité un léger arrêt fait remonter la f. é. m.

Nous suivrons la continuation de ces essais avec le plus vif intérêt.

E. B.

CHRONIQUE

L'éclairage électrique au Japon. — Les Japonais sont décidément résolus à nous indiquer la voie du progrès ! Tandis qu'en Europe et en Amérique les compagnies d'éclairage électrique arrivent à grand peine à distribuer de faibles dividendes (quand elles en distribuent), la compagnie d'éclairage électrique de Kyoto réalise des bénéfices qui lui permettent de distribuer des dividendes de 18 p. 100 par an : un placement de père de famille ! Ce résultat, ajoute *Industries and Iron*, à qui nous empruntons ce détail, est suffisant pour faire venir l'eau à la bouche, même au directeur d'une compagnie de gaz... Comme les députations, commissions d'enquête, etc., semblent être à la mode, ne serait-il pas sage à nos compagnies de former un groupe qui irait sur place se rendre compte de la façon dont ces résultats peuvent être obtenus? Les membres de la commission d'enquête ne seraient certainement pas difficiles à recruter.

Couveuses électriques. — D'après le journal de Londres, *Lightning*, l'incubation électrique prendrait en Allemagne les proportions d'une industrie importante. Un électricien de Strasbourg, qui poursuit ses expériences depuis trois ans environ, aurait trouvé qu'avec l'incubateur électrique, 90 poulets viennent à bien sur 100 œufs employés.

Métal non magnétique. — L'acier contenant 12 p. 100 de manganèse ne serait pas magnétique. Cette propriété pourra être utilisée avec avantage dans la construction de beaucoup d'appareils électriques.

Fabrication des lampes à incandescence, aux États-Unis. — D'après l'*Electrical Review* de New-York, il y aurait actuellement aux États-Unis plus de vingt fabriques de lampes à incandescence, fabriquant au moins 30 000 lampes par jour, soit 10 à 11 millions de lampes par an.

Durée des isolateurs en porcelaine. — M. A. E. Dobbs pose, dans l'*Electrical Engineer*, de New-York, la question suivante : « On tend de plus en plus à admettre que, pour les hauts voltages, tout au moins, les isolateurs en porcelaine sont préférables à ceux en verre. Mais en est-il ainsi réellement ? » Voici à la suite de quelles circonstances il fut conduit à étudier cette question :

La ligne télégraphique originelle de Montréal à Vancouver est tendue sur des isolateurs en porcelaine à double cloche ; tous les autres fils sur la même ligne sont montés sur isolateurs en verre. Les premiers ne donnèrent pas d'aussi bons résultats que les seconds, et M. Dobbs put s'assurer que le fil en contact avec la porcelaine laissait en maintes places des raies de rouille qui prouvaient soit que la porcelaine contenait quelque substance étrangère, soit que des fuites de courant avaient causé une légère électrolyse. Les isolateurs étaient profondément craquelés ; il faut ajouter qu'ils étaient en porcelaine de fabrication canadienne qui est assez défectueuse.

Il serait intéressant de savoir comment se sont comportés les isolateurs en porcelaine qui ont été en place de cinq à dix ans, en stipulant les conditions climatériques auxquelles ils sont exposés et le lieu de fabrication.

Les tramways à accumulateurs aux Etats-Unis. — On annonce que la Southern Passenger Railway Company, a l'intention d'opérer les lignes de Carpenter et Reed Streets, à Philadelphie, avec des voitures à accumulateurs. Chaque voiture serait munie d'une batterie suffisamment puissante pour assurer un parcours de 112 km. sans recharge. Ce dernier chiffre impliquerait un tel poids mort à traîner que nous ne l'enregistrons que sous toute réserve.

D'un autre côté de nouveaux essais vont être faits à New-York avec le système en usage à Paris. Les voitures à accumulateurs seront d'abord essayées sur la ligne de la quatrième avenue et de Madison. Si les essais sont satisfaisants, la ligne de la seconde avenue sera équipée de même.

Les voitures seront du modèle américain ordinaire ; la caisse aura 5,50 m, de long et y compris les plates-formes, 7 m. de bout en bout. Les batteries seront suspendues entre les roues motrices sous le coffre de la voiture.

Éclat intrinsèque des lampes. — M. von Œchelhaenser, publie dans le *Gas World* les résultats d'expériences d'après lesquels une lampe à gaz de Wilsbach donne une bougie pour une surface éclairante de 33 mm^2. D'après M. Bernstein, une lampe électrique à incandescence donne la même quantité de lumière pour une surface de 4 mm^2.

Utilisation des chutes du Niagara. — Le 26 août, à 7 heures du matin, la Niagara Falls Power Company a commencé ses opérations commerciales proprement dites. Le courant a été transmis aux usines de la Pittsburgh Reduction Company qui employa, ce jour, une vingtaine d'hommes; le lendemain 40 ouvriers étaient au travail. Le courant était engendré par la seconde dynamo; la puissance transmise était d'environ 2 000 chevaux. Nous consacrerons bientôt un article spécial à la description des installations de cette gigantesque entreprise.

Les tramways électriques à Paris seraient-ils destinés à quitter enfin le domaine des probabilités? L'entre-filet suivant que nous traduisons de *the Electrical World* du 24 août dernier, semble indiquer que nos édiles nous préparent quelque surprise pour 1900: « M. Maréchal, ingénieur de la Ville de Paris est arrivé à New-York samedi dernier. Il se propose d'étudier les systèmes de propulsion électrique des voitures de tramways en usage aux Etats-Unis. Il s'est particulièrement intéressé aux systèmes à conducteur souterrain; il est actuellement à Washington pour étudier la construction et l'exploitation du système récemment complété par la Compagnie de la Metropolitan line. Relativement aux systèmes en usage à Paris, M. Maréchal dit que les autorités et la population sont très fortement opposées au conducteur aérien et n'en permettront pas l'introduction sous aucune circonstance. Trois lignes sont actionnées à Paris par l'air comprimé. Mais, suivant M. Maréchal, le fonctionnement n'est pas satisfaisant, par suite des grandes dépenses inhérentes à l'exploitation et de la difficulté qu'on a éprouvée à empêcher la congélation pendant l'hiver. »

Coût du chauffage électrique des tramways. — M. K. Bowen, Superintendant de la Chicago City Railway C°, vient de publier le rapport suivant:

« Pendant l'hiver rigoureux que nous venons de traverser, 76 voitures motrices chauffées par des poêles à anthracite, à alimention automatique, et 10 voitures motrices chauffées par deux types de radiateurs électriques furent en service. Les voitures ont 6,40 m. de longueur et n'ont pas de vestibule. Les deux portes, d'avant et d'arrière pouvaient être ouvertes. La température était maintenue à 20° C. au-dessus de la température extérieure.

« Le charbon dur brûlé dans les poêles, coûte 26,75 fr., la tonne (de 908 kg.); les poêles en consomment 750 gr. environ par heure. Le charbon brûlé dans les chaudières coûte 7 fr. la tonne. Les radiateurs dépensent 6,2 ampères.

« Les prix s'établissent comme suit:

	Radiateurs électriques.	Poêles.
Intérêt à 6 0/0.	0,0410	0,0205
Dépréciation 10 0/0 pour les radiateurs et 20 0/0 pour les poêles.	0,0685	0,0685
Réparations et entretien. . . .	0,0100	0,0335
Courant ou combustible	4,6800	0,4015
	4,7995	0,5240

« Le chauffage électrique coûterait donc, d'après ce qui précède, environ 9 fois plus cher que le chauffage au charbon. »

L'éclairage électrique à Chicago. — D'après *The Electrical Journal*, de Chicago, il y a actuellement plus de 500 000 lampes à incandescence et 20 000 lampes à arc, allumées chaque soir dans la métropole de l'ouest.

Le prix du carbure de calcium. — La Société de l'aluminium de Neuhausen (Suisse) vend le carbure de calcium par quantités de 1 000 kg. au prix de 0 fr. 50 le kg.

La maison Eimer et Amend, de New-York, offre le carbure de calcium, par quantités de 25 kg. à 2,90 fr. le kg.

Enfin, l'acétylène liquide est produit et mis en vente par la Société pour l'industrie chimique de Mannheim.

TABLE DES MATIÈRES

Appareillage.

Pages.

Commutateur. — *Knowles* 505
Coupe-circuit. — *Ferranti* 267
Coupe-circuit. — *Siemens et Halske* 266
Coupe-circuit automatique. — *Siemens et Halske* 505
Rhéostat automatique. — *Hartnell* 73
Les rats électriciens 287

Appareils et méthodes de mesure.

Sur l'élimination des forces électromotrices dans la mesure des résistances. — *A. Broca*. 291
Ohmmètre. — *Goolden et Evershed* 169
Mesures directes des forces électromotrices en unités C. G. S. — *Limb* 181
Sur un électromètre apériodique. — *W. Hallwachs* 86
Ampèremètre. — *Nadler* 171
Galvanomètre enregistreur. — *Harrisson* . . . 506
Sur l'emploi d'un voltamètre à iode pour la mesure des faibles courants. — *E. F. Heroun* 184
Expériences sur la capacité propre des bobines. — *A.-S. Kimball* 418
Nouvelle méthode de mesure des capacités électriques basée sur la sensibilité de la peau. — *H. Bordier* 84
Compteur. — *Fish* 505
Compteur d'énergie électrique. — *Telge* . . . 192
Indicateur pour courants alternatifs. — *Mordey* 172
Le laboratoire d'étalonnage électrique du Board of Trade 87
Les limites d'exactitude et le degré de précision actuels de la mesure de la résistance électrique. — *Herschel et C. Parker* 284

Pages.

Perturbations causées aux instruments de mesures électriques par le voisinage des tramways électriques. — *Kohlrausch, Siemens, Slaby, Dubois, Dorn* 314
Le rôle des appareils enregistreurs dans l'électro-technique. — *V. Tchikoleff* 261
Dispositif pour mesurer la différence de phase mécanique de deux machines. — *A. Wilke*. 367
Nouveaux analysateurs harmoniques. — *A. Hess* 385
Synthèse d'ondes de courants. — *Barr, Beelon, et Taylor* 219
Méthodes graphiques pour la détermination des carrés moyens. — *A. Russell* 276

Applications mécaniques de l'électricité.

Sur la transmission électrique de la force motrice dans les usines. — *A. Bollinckx* . . . 419
Les installations électriques de Rotterdam. — *Louis Bruhnes* 489
Halage électrique dans les mines 240
Transbordeurs électriques pour gares 384
Perceuse mobile électrique 286
Projet de pont tournant électrique pour l'Exposition de 1900. — *Devie* 336
L'électricité à bord des navires japonais . . . 238
Les applications de la force motrice électrique à Berlin 430
Le Havre. — Distribution d'énergie électrique 236

Biographie. Bibliographie. Nécrologie.

Traité élémentaire d'électricité. — J. Joubert. — *J. Blondin* 46
Manuel de magnétisme et d'électricité. — G. Poloni et F. Grassi. — *E. Boistel*. 47, 525

Pages.

Etude analytique et graphique des courants alternatifs. — BEDELL et CREHORE. — *F. Guilbert* 333
Leçons élémentaires d'électricité et de magnétisme. — S.-P. THOMPSON. — *F. Guilbert*. 571
Annuaire d'électricité. — W. NERNST et W. BORCHERS. — *A. Hess* 47, 382
Les systèmes téléphoniques de l'Europe continentale. — A.-R. BENNET. — *A. Hess* . . 427
Les applications mécaniques de l'énergie électrique. — J. LAFFARGUE. — *G. Pellissier*. . 92
Traité d'électricité, théorie et applications générales. — F. RODARY. — *G. Pellissier*. 46, 139
Electro-métallurgie. — W. BORCHERS. 334
Leçons sur la production industrielle de l'énergie électrique. — F. GASSART. 47
Recettes de l'électricien. — E. HOSPITALIER . 334
Mesure directe des forces électromotrices en unités absolues électromagnétiques. — CLAUDIUS LIMB. 339
Théorie analytique de la propagation de la chaleur. — H. POINCARÉ. 47
Nouveau journal d'électrochimie. 238

Canalisation de l'électricité.

Câbles flottants. — *Felten et Guillaume* 268
Câbles à faible capacité. — *Felten et Guillaume*. 313
Calcul de la section la plus économique des câbles. — *Fr. Vogel* 465
Indicateur de l'isolement des canalisations en service. — *O. Froelich* 176
Des causes qui déterminent les différences de phases dans les circuits à courants alternatifs. *Edwin J. Houston et A.-B. Kennelly* 270
Ressorts pour conducteurs. — *Siemens et Halske*. 26
Durée des isolateurs en porcelaine. — *A.-E. Dobbs* 607

Conductibilité. Transmission de l'électricité.

Sur la résistance au courant variable. — *G. Sagnac*. 66
Variations de la résistance des solutions sous l'influence des courants constants. — *F. Kohlrausch et A. Heydweiller*. 132
Sur la détermination des constantes électriques de l'eau. — *G. Gourée de Villemontée* 472
Sur la résistance intérieure des piles et des voltamètres. — *W. Greef* 515
Conductibilité électrique des gaz chauds. — *Pringsheim* 518

Cours. Conférences. Sociétés savantes. Expositions.

Le Congrès de Bordeaux de l'Association française pour l'avancement des sciences. Section de Physique. — *J. Blondin* 289
L'électricité à Bordeaux. — *G. Pellissier* . . . 337
Exposition d'électricité à Reims 96
Exposition Cannes 1895 . . . . 334 588
A propos de l'Exposition de 1900. — *G. Claude*. 76
Laboratoire central d'Électrité. — École d'application 141, 286
— Changement de directeur. 525
Association britannique pour l'avancement des sciences 572
Institution des Ingénieurs civils de Londres. — Programme de conférences 571
Réunion annuelle de la Société allemande d'électrochimie 227
Société industrielle de Mulhouse. — Prix à décerner en 1896. 141
Société française de Physique. — 5 juillet 1895. 82
— 19 juillet 1895 181
Congrès international des chemins de fer, à Londres. — *Auvert* 733

Diélectrique. Décharge disruptive.

Sur la constante diélectrique de quelques substances et en particulier du verre. — *Mazotto*. 33
Sur les attractions et répulsions apparentes des conducteurs électrisés dans un diélectrique fluide. — *Gouy* 82
La question de l'hystérésis diélectrique. — *A. Hess* 205
Études expérimentales sur l'étincelle disruptive. — *A. Broca*. 181, 343 401
Production de longues étincelles à la surface de l'eau. — *A. Righi* 21
Sur les potentiels explosifs statique et dynamique. — *R. Swingedauw* 326, 469
Sur un nouveau genre de rayons accompagnant les étincelles et décharges électriques. — *E. Wiedmann*. 569

Pages.
Sur un phénomène de phosphorescence obtenu dans des tubes contenant de l'azote raréfié après le passage de la décharge électrique. — *Gaston Séguy*. 331
Sur un curieux phénomène électrique dans le vide. — *L. Doporé*. 141

Divers. Documents.

Les incendies et l'électricité. — *J.-P. Barret*. 383
Sur les règles mnémoniques en électricité. — *R. Busquet*. 550
Quelques dispositifs pratiques d'expériences de cours. — *Delvalez*. 294
Une unité de son. — *Hiram Maxim*. 573
Jet d'eau électrique. 192
Loi du 25 juin 1895 concernant l'établissement des conducteurs d'énergie électrique autres que les conducteurs télégraphiques et téléphoniques. 237
Règlement municipal concernant les installations électriques intérieures. 479, 576
Formation d'une société industrielle de moteurs électriques et à vapeur. — *J.-J. Heilmann*. . 189
Les Sociétés d'électricité à Paris. 528
Procès en contre-façon (procédés Tesla). . . . 336
Le système métrique. 336
Développement du système métrique aux Etats-Unis. 389

Eclairage électrique. Photométrie.

Les lampes à incandescence. — *G. Richard*. . 124
Soufflage du verre pour lampes à incandescence. — *Burnett et Doane*. 124
Procédé Malignani pour obtenir le vide dans les lampes à incandescence. — *A. Casanova*. 602
Scellement. — *Green*.. 126
Scellement des culots de lampes à incandescence. — *R. Hughes*. 125
Scellement. — *Ram*. 126
Monture. — *Evered et Walson*. 128
Monture. — *Jack*. 127
Monture de lampe à incandescence. — *Neumann*. 126
Monture. — *Proctor*. 126
Monture à rhéostat, pour lampe à incandescence. — *Ries*. 127
Réflecteur pour lampes à incandescence. — *Ford*. 124
Pages.
Réflecteur pour lampes à incandescence. — *Turnbull*. 124
Lanterne pour lampes à incandescence. — *Knowles*. 128
Fabrication des lampes à incandescence aux Etats-Unis. 607
Les lampes à arc. — *G. Richard*. 535
Lampe à arc à mercure. — *L. Arons*. 558
Lampe à arc à courants alternatifs pour projecteur. — *Boardman*. 542
Lampe à arc à traction magnétique « La Moderne », système Klostermann. — *E.-J. Brunswick*. 502
Lampe à arc à charbons convergents. — *Crosby et Shaw*. 538
Lampe à arc. — *Kester*. 536
Lampe à arc différentielle. — *Heyman*. 535
Lampe à arc. — *Higham*. 542
Lampe à arc. — *Mac-Intire*. 536
Lampe double différentielle. — *Money et Hash*. 539
Lampe à arc pour projecteur. — *Schauffel*. . . 542
Lampe à arc. — *Schweizer*. 538
Lampe à arc. — *Smith*. 536
Lampe à arc. — *Stevens*. 536
Lampe à arc. — *Suisse et Hennequin*. 536
Lampe à deux paires de charbons ou lampe double. — *Walton*. 539
Effet de la pression du gaz ambiant sur la température du cratère de l'arc électrique. — *W.-E. Wilson*. 132
Eclairage électrique des trains. — *Biddle (W.) et Kennedy (P.)*. 318
Eclairage électrique des trains. — *Lewis (Isaac Newton)*. 316
Fanal électrique de locomotive. — *G. Pyle*. . 314
Rendement des usines d'électricité. — Stations américaines. — Distribution électrique de la ligne de Sceaux. — *A. Bochet*. 97
Station mixte pour éclairage et tramways, à compensateur de charge. — *Siemens Brothers*. 158
Lentilles perfectionnées pour phares électriques. — *Brebner*. 543
Installation de phares aux îles Philippines. . . 48
Mesure de l'éclairement. — *E.-J. Houston et A.-E. Kennelly*. 172
Mesure de l'éclat stellaire. — *Minchin*. 573
Eclat intrinsèque des lampes. — *Von Œchelhaenser et Bernstein* 608
Eclairage par luminescence. — *A. Witz*. . . . 471

Pages.

Visibilité des lumières 288
Eclairage électrique de Hong Kong 96
L'électricité au Japon 526
L'éclairage électrique au Japon 607
L'électricité à bord des navires japonais . . . 238
L'éclairage électrique en Russie 96
L'éclairage électrique à Bruxelles 144
L'éclairage électrique à Chicago 608
La chasse à la lumière électrique 573
L'incandescence par les combustibles liquides. 527
Le gaz et l'électricité à Fécamp 94

L'INDUSTRIE ÉLECTRIQUE EN FRANCE :

Alais 190
Albi 534
Bordeaux 93
Braisne 94
La Chapelle-en-Vercors 94
Dieppe 94
Douai 334
Evreux 237
Fécamp 94
Finistère 525
La Flèche 334
Grasse 335
Jonzac 515
Laroquebrou 190
Longuyon 525
Lyon 95
Mascara 96
Maubeuge 335
Melun 525
Montendre 190
Nancy 96
Pornic 525
Paris. Éclairage des squares 190
Paris. Éclairage du collège Chaptal 189
Le Puy 237
Rouen 336
Sangues 525
Saint-Étienne. Accidents 524
Thonon 191
Toulouse 96
Toulouse 191
Vandeuvre 336

Électro-biologie.

Nouvelle méthode de mesure des capacités electriques basée sur la sensibilité de la peau. — *H. Bordier* 84

Pages.

Recherches sur la décharge électrique de la torpille. — *d'Arsonval* 328
Électrocuté par accident 238

Electrolyse. Electro-chimie.

Électrochimie. Les lois générales de l'électrolyse. — *P. Janet* 481
— Transport des ions. — *P. Janet* 577
Loi de Faraday pour les courants fournis par les machines électrostatiques. — *J.-E. Myers* 236
Influence des gaz dissous sur le poids d'argent déposé dans le voltamètre. — *J.-E. Myers*. 235
Nouveau procédé d'analyse par l'électrolyse. — *Jordis* 228
Électrolyseur. — *Gautier* 462
Électrolyseur. — *Waite* 461
Diaphragmes pour électrolyseurs. — *Guthrie*. 27
Diaphragmes. — *Kellner* 26
Électrodes. — *Kellner* 75
Sur le rendement des appareils électrolytiques. — *Hurter* 415
Tannage électrique des peaux. — *Foelsing* . . 229
Traitement électrolytique des mattes cuivreuses argentifères et aurifères en Amérique. — *James Douglas* 559
Séparation des alcalis caustiques des liqueurs obtenues par l'électrolyse des sels alcalins. — *Solvay* 461
Préparation électrolytique des alliages d'étain et des métaux alcalins procédé *Vautin* . . . 27
Sur l'électrolyse par courants alternatifs. — *W. Peukert* 133
Sur l'électrolyse par courants alternatifs. — *Dobrowolsky* 269
Contribution à l'étude de la polarisation du mercure. — *Lietznau* 515
Sur la relation entre le courant photo-électrique et l'azimuth et l'angle d'incidence de la lumière. — *J. Elster et H. Geitel* 278
Emploi de l'ozone comme désinfectant 576

Electro-optique. Oscillations électriques.

Les équations de la théorie électromagnétique de la lumière déduites des faits expérimentaux de l'optique cristalline. — *Ketteler*. 519 571
La théorie électromagnétique de la lumière et

Pages.
l'absorption cristalline. — *B. Bruhnes*. 193, 352, 520 596
Méthode simple de démonstration de la réfraction électrique dans les liquides. — *P. Drude*. 562
Sur la double réfraction des rayons électriques. — *A. Righi*. 277
Sur l'interprétation théorique des expériences hertziennes. — *P. Duhem*. 295 494
Actions chimiques et optiques des rayons cathodiques. — *E. Wiedemann* 228

Génération et transformation de l'électricité.

Sur la théorie de la machine de Wimshurst. — *V. Schaffers*. 421
Sur l'histoire et la théorie des machines à influence à double rotation. — *W. Holtz*. . 423
Observations sur la théorie et l'histoire des machines à influence à rotations opposées. — *James Wimshurst* 425
Sur le lieu de la force électromotrice. — *Ostwald* 227
Sur la force électromotrice des étalons L. Clark, Gouy et Daniell. — *C. Limb* 332
Sur le rendement des piles Junius. — *Junius* . 297
Sur une pile constante de grande force électromotrice. — *Morisot*. 297
La pile étain chlorure chromique. — *S. Skinner*. 233
Action catalytique de l'acide azoteux. — *Ihle* 229
Sur l'action de l'acide azoteux dans la pile Grove. — *M. Ihle*. 567
Note sur quelques amalgames liquides saturés. — *Gouy*. 181
Pile thermo-électrique. — *Cox* 26
Pouvoirs thermo-électriques des métaux et alliages entre les températures d'ébullition de l'eau et de l'air liquéfié. — *James Dewar et J.-A. Fleming*. 187
Accumulateurs. — *Drake et Marshall*. 267
Théorie de l'accumulateur. — *Elbs*. 229
Accumulateur. — *Hammacher*. 172
Accumulateur. — *Kowalski*. 229
Etude critique des accumulateurs au plomb. Description de l'accumulateur à navette de M. René Blot. — *G. Margaine*. . . . 290 432
Notes sur les accumulateurs secs. — *Fitzgerald* 605
Charges des accumulateurs à l'aide du courant alternatif. — *Pollak*. 228

Pages.
Les réactions électrochimiques dans les accumulateurs. — *W.-H. Cooper* 466
Précautions à prendre dans l'emploi des accumulateurs 144
Les dynamos. — *E. Boistel* 211
Dynamo bipolaire. — *Gravier*. 211
Etude expérimentale d'une petite dynamo de 20 à 25 watts (2 à 3,5 kgm.) marchant en génératrice et en moteur. — *S. Hanappe*. 433
Détermination expérimentale de la réaction d'induit des dynamos. — *L. Baumgardt*. . . 218
Modification des caractéristiques avec l'entrefer des dynamos à courants continus. — *E.-J. Brunswick* 411
Marche en parallèle de machines compound. — *J. Pigg* 76
Réglage à distance des électromoteurs. — *C.-F. Jenkins*. 80
Balais en charbon pour machines à bas potentiel. — *Thomson*. 413
Porte-balais. — *Crompton*. 213
Porte-balais. — *Elihu Thomson*. 313
Sur la construction des alternateurs. — *H. Besen et Eschmburg* 511
Etude du champ magnétique d'un moteur électrique à courants diphasés du type Brown de cinq chevaux. — *S. Hanappe*. 5, 59, 114, 159
Sur la chute du potentiel dans les alternateurs. — *Dolivo-Dobrowolsky* 225
Réactions d'induit dans un alternateur simple et un alternateur polyphasé. — *Ossian Chrytraeus* 77
Mode de synchronisation des alternateurs en parallèle. — *Kingdon*. 214
Un nouveau moteur asynchrone à courants alternatifs. — *G. Benischke*. 417
Calcul des moteurs polyphasés. — *H. Cahen*. 319
Une théorie des moteurs synchrones. — *W.-G. Rhodes*. 181
Contribution à une théorie des moteurs synchrones. — *Alexandre Rothert*. 273
Transformateur variable. — *Edison Swan*. . . 570
Sur la polarité de la bobine de Rhumkorff. — *Broca* 298

Induction.

Une expérience négligée d'Ampère, par Sylvanus P. Thompson. — *E. Boistel*. 39
Sur quelques expériences avec des courants alternatifs. — *A. Sadowsky*. 380

Pages

Méthode pour déterminer le coefficient de self-induction d'une bobine. — *Wladimir de Nikolaïeve* 475

Magnétisme.

Unités magnétiques. — *O. Lodge*. 376
Action des courants électriques internes sur l'aimantation du fer. — *J. Hopkinson*. 229, 281
Contribution à la théorie de la désaimantation. — *E.-J. Houston et A.-E. Kennelly*. 36
Loi possible du magnétisme résiduel dans le fer et l'acier. — *E.-J. Hinton et Kennelly (A.-E.)* 38
Sur la relation entre l'induction magnétique maximum et la rémanence.—*R.-A. Fessenden*. 562
Quelques expériences sur l'hystérésis magnétique. — *F. Holden*. 561
Note sur les propriétés magnétiques de l'amiante. — *L. Bleekrode*. 278
Recherches sur l'aimantation non isotrope de la magnétite cristallisée. — *Pierre Weiss*. . . . 82
Qualités magnétiques de l'acier forgé. 553
Métal non magnétique. 607
Quelques propriétés générales des champs magnétiques tournants. — *André Blondel*. 241, 308, 358
L'invention de l'électro-aimant. — *E. Boistel*. 136
Un effet électromagnétique. — *F.-W. Bowden*. 381
Variations du diapason dans un champ magnétique. — *Maurain*. 452
Loi de la distribution du magnétisme moyen à la surface du globe. — *Alexis de Tillo*. . . . 134

Météorologie.

Loi de la distribution du magnétisme moyen à la surface du globe. — *Alexis de Tillo*. . . . 134
L'astronomie moderne basée sur les lois électrodynamiques. — *Zenger*. 294
La théorie électrodynamique du système du monde. — *Ch.-V. Zenger*. 547
Nouvelles photographies de l'éclair. — *N. Piltschikoff*. 420
Chronique des coups de foudre. 429, 477

Moteurs thermiques et hydrauliques.

L'électricité à Bordeaux. Chaudières à émulseurs de vapeur de Dubiau. — *G. Pellissier*. 588
Indicateur et tachymètre électriques pour machines à vapeur. — *A.-M. Hunt et Wynn Meredith*. 131
Frein électrique pour volants 288

Pages.

Sur une particularité de réglage des dynamos actionnées par machine à vapeur à détente fixe. — *F. Mélotte*. 219
Utilisation de la force motrice du vent 143
L'homme considéré comme machine par un électricien. — *Thurston* 575

Soudure électrique.
Chauffage et cuisine à l'électricité.
Fours électriques.

Montages électramagnétiques. — *W.-E. Irisch*. 27
Montages électramagnétiques, observations de MM. Sheldon et Styner. — *E. Boistel* . . . 167
Coût du chauffage électrique des voitures de tramways. — *Bowen*. 608
Chauffage électrique des voitures de tramways. — *Central Heating C°*. 447
Chauffage électrique des voitures de tramways. *Ph. Dawson*. 446
Couveuses électriques 607
La soudure électrique. — *Gustave Richard* . . 14
Soudeuse. — *Coffin*. 18
Forge à souder les jantes. — *Coffin*. 20
Forge à arc circulaire. — *Coffin* 21
Forge à souder les brides. — *Coffin* 21
Forge à souder les roues de wagons. — *Parkinson* 21
Forge à soudure. — *Thomson*. 16
Détrempeur. — *Lemp* 17
Le recuit électrique des cuirasses de navires. — *W.-W. Hanscom* 129
Allumeur électrique. — *Swinton*. 26
Fours à arc. — *Coffin*. 19
Fabrication du carbure de calcium. — *Borchers*. 229
— *Frolich*. 229
Fabrication industrielle du carbure de calcium 192
La transformation du carbone en graphite. Les fours électriques Girard et Street. — *J. Reyval* 454
Le prix du carbure de calcium. 608

Stations centrales.

Rendement des usines électriques. Stations américaines. Distribution électrique de la ligne de Sceaux. — *A. Bochet*. 97
Le rendement financier des usines d'électricité. 48
Consommation du charbon dans les stations centrales. — *W.-F. White* 560

Pages.
Tarifs de la station centrale électrique de Francfort . . . .
Station centrale à moteurs à gaz, à Chicago. . 528
Lyon. Inauguration de la station des Echelles. 236

Télégraphie. Téléphonie. Chronographie. Horloges électriques. Signaux.

La télégraphie quadruplex en Amérique. — *Jul.-H. West* 369
Télégraphe sous-marin. — *Muirhead et Fraser*. 171
Représentation mécanique du fonctionnement des câbles sous-marins. — *G. Forbes* 465
Revendication américaine de priorité pour la télégraphie sans fils. Travaux de John Trowbridge. — *Dolbear*. 315
Siphon Recorder. — *Muirhead* 463
Télégraphie navale. — *Rathenau*. 527
Répartiteur d'électro-diapasons. — *Rudholzner*. 464
Pied de poteau télégraphique. — *Siemens et Perry* 315
Le vocabulaire télégraphique officiel. 415
Adresses télégraphiques 528
Télégraphie à grande distance 574
Câble télégraphique Sud-Américain 432
Communication électrique entre la côte et les bateaux-phares. 600
Les noces d'or du télégraphe électrique en France 288
Dérangements des lignes télégraphiques. . . . 432
Reportage en ballon captif. 527
Pédale. — *Tyer*. 265
Cible électrique 528
La transmission électrique de l'heure à Toronto. — *J.-J. Wright*. 239, 365
Transmission de l'heure par l'électricité 576
Microphone vibratoire à grenaille. — *Jacques* . 48
Microphone. — *Carbonelle* 171
Réforme des taxes téléphoniques en France. . 525
Téléphone de la Société téléphonique de Berlin. 266
La téléphonie en Allemagne 192
La téléphonie en Angleterre 431
La téléphonie en Belgique. 239
La téléphonie aux États-Unis 47
La téléphonie en Suisse. 240
La téléphonie en Turquie 431
Communications téléphoniques dans les fermes. 287

Traction électrique.

Chemins de fer et tramways électriques. — *G. Pellissier*. 49, 145, 391, 446
Pages.
Chemin de fer bicycle à roue motrice. — *Boynton* 57
Suspension et accouplement élastiques. — *J.-J. Heilmann* 50
Locomotive électrique à crémaillère. — *Francis Rinecker* 56
Trains à grande vitesse. — *Hiram Maxim*. . . 57
Contrôleur pour six moteurs de la *General Electric C°*. 52
Chemin de fer électrique aérien 239
Le chemin de fer métropolitain de Chicago. — *G. Pellissier*. 254
Chemin de fer électrique de Nantasket-Beach. 574
Locomotive électrique. — *Hunter* 51
Locomotive électrique des *Baldwin Locomotive Works* 49
Locomotive électrique du Baltimore and Ohio Railway 50
— New-York Central Railroad 50
La traction électrique sur la ligne du chemin de fer de Baltimore and Ohio. — *J. Reyval* . . 299
Vitesse des trains électriques 287
Congrès international des chemins de fer à Londres. — *Auvert* 573
Vitesse des trains des chemins de fer à vapeur en Amérique. 143
Boggie à adhérence totale et à un seul moteur. — *Johannet et G. Dupont* 146
Truck pour tramway à un seul moteur. — *Lundell et Johnson* 145
Truck à un seul moteur de la *Thomson Houston Electric C°*. 146
Contrôleur série-parallèle. — *Thomson-Houston* 147
Modes de captation de l'énergie électrique pour les chemins de fer et tramways électriques. — *Holroyd Smith* 221
Roue de trôlet. — *E.-M. Tousley* 391
Trôlet à glissement. — *Siemens Brothers*. . . . 393
Trôlet à glissement à double contact. — *Siemens Brothers* 393
Base de trôlet. — *O.-G. Cales* 392
Distribution par feeders souterrains, à Philadelphie. 399
Fil à trôlet. — *John A. Roebling* 397
Isolateur de section. — *Nicols et Lincoln* . . . 397
Poteaux en fer. — *Berlin Iron Bridge C°* . . . 401
Potence à suspension élastique. — *Creaghead*. 401
Potence articulée. — *Pfoul* 401
Potence à suspension élastique. — *Wood*. . . 401
Suspension à coupe circuit automatique. — *Curry*. 396

Pages.
— *Mac Tighe* 395
— *Ohio Brass C°* 395
— *Smith et Clabaugh* 395
— *Thompson-Brown* 395
Méthode de suspension du fil à trôlet permettant de diminuer le nombre de poteaux . . . 398
Méthode pour la localisation des fautes dans les chemins de fer électriques. — *Henry* 413
Joint électrique pour rails. — *Brown* 398
Joint électrique pour rails.—*Thompson-Brown*. 397
Canalisation souterraine sectionnée. — *T. Armat* 150
Canalisation souterraine sectionnée à contact momentané. — *Braud et Francklyn*. 153
Canalisation souterraine à conducteur supérieur. — *Delabarre, Frazer, Carrick* 155
Traction électrique à conducteur souterrain. — *A. Diatto* 602
Canalisation souterraine et voie. — *Dulany* (*W.-E.*), *Shaw* (*O.-F.*) 155
Canalisation souterraine à commutateur mécanique. — *O.-A. Enholm* 152
Canalisation souterraine. — *St. D. Field* . . . 149
Tramway à trôlet souterrain. — *General Electric C°*. 508
Conduite souterraine pour tramway électrique. — *Hœrde* 607
Canalisation souterraine électro-magnétique pour tramway. — *H.-P. Holt*. 149
Canalisation souterraine à compartiments séparés. — *H.-A.-F. Petersen*. 154
Canalisation souterraine. — *Ch.-W. Siemens*. 148
— souterraine à chariot moteur. — *Simon et Beissbarth* 150
Canalisation souterraine à compartiments séparés. — *W.-R. de Voe*. 155
Voiture électrique. — *Bersey* 268
Le chasse-neige électrique. 383
Chasse-neige et balayeuse électrique. — *Ph. Dawson* 368
Frein électrique. — *Elmer H. Sperry* 448
Distribution par accumulateurs pour tramways. — *P. Schoop* 159
Station mixte pour éclairage et tramways, à compensateur de charge. — *Siemens brothers*. 158
Station d'arrêt et de démarrage à récupération. *Elihu Thomson* 157
Indicateur de vitesse pour voitures de tramways électriques. — *J.-W. Darley*. 448
Block système pour tramways électriques. — *Lewis* (*Willard Francis*) 444
Plaque tournante à manœuvre électrique. — *R.-M. Hunter* 451
Manœuvre automatique des aiguilles. — *H.-A.-F. Petersen* 154
Perturbations causées aux instruments de mesures électriques par le voisinage des tramways électriques. — *Kohlrausch, Siemens, Slaby, Dubois, Dorn* 314
Coût du chauffage électrique des tramways. — *K. Bowen* 608
Chauffage électrique des voitures de tramways. — *Ph. Dawson* 446
Chauffage électrique des voitu.es de tramways. — *Central Heating C°*. 447
Protecteur. — *Edwards*. 450
— *F.-H. Homan* 450
— *Leonhardt*. 451
Les tramways à accumulateurs électriques aux États-Unis 607
Application des courants triphasés à l'exploitation des tramways électriques 130
Les chemins de fer vicinaux de la Belgique . . 215
La bicyclette et les tramways en Amérique . . 239
Les tramways électriques et les chemins de fer. 287
La traction électrique en Amérique (statistique) 239
Statistique des tramways électriques en Amérique. 288
La traction électrique à Berlin. 286
Nouvelle ligne de tramways électriques à Berlin. 432
Les tramways électriques à Buda-Pest 576
Tramway électrique à Leipzig. 430
Tramway électrique de Milan à Musocco . . . 573
La traction électrique à Rome. 384
Projet de funiculaire au-dessus des chutes du Niagara 192
Yacht électrique de 47 pieds 287
Parties de campagne en tramway électrique. . 572

INDUSTRIE ÉLECTRIQUE EN FRANCE :

Angers. 334
Arcachon 524
Bègles 191
Bordeaux 334, 524
Lyon. 335, 525
Montpellier 334

Pages.
Mustapha 336
Les tramways électriques à Paris. — *Maréchal.* 608
Pierrefite. 191
Roubaix. Accident. 237
Saint-Étienne 94
Sérignan 96
Soissons 291

Transmission de l'énergie.
Utilisation des forces naturelles.

Système monocyclique. Exposé élémentaire. — *Steinmetz* 556
Pages.
Système polycyclique. — *Steinmetz* 217
Le système hydro-électrique. — *Van Rysselberghe* 528
Installation triphasée à Winooski 510
Transmissions par courants triphasés en Amérique 215
Forces hydrauliques non utilisées 431
Utilisation des forces hydrauliques du Missisipi 286
Utilisation de chutes d'eau en transports d'énergie 240
L'utilisation des chutes du Niagara 287
Utilisation des chutes du Niagara 608

TABLE PAR NOMS D'AUTEURS

A B

Pages.

AMPÈRE. — Voir *Boistel (E.)*.
ARMAT (T.). — Canalisation souterraine sectionnée pour tramways 150
ARONS (L.). — Lampe à arc à mercure 558
ARSONVAL (D'). — Recherches sur la décharge électrique de la torpille. 328
BALDWIN LOCOMOTIVE WORKS. — Locomotive électrique. 49
BARR, BEETON ET TAYLOR. — Synthèse d'ondes de courant. 219
BARRET. — Les incendies et l'électricité . . . 383
BAUMGARDT. — Détermination expérimentale de la réaction d'induit des dynamos. 218
BEETON. — Voir *Barr, Beeton et Taylor*
BEISSBARTH. — Voir *Simon et Beissbarth*
BENISCHKE (G.). — Un nouveau moteur asynchrone à courants alternatifs. 417
BERNSTEIN. — Voir *Œchelhaenser (von) et Bernstein*.
BERLIN IRON BRIDGE C°. — Poteaux en fer. 401
BERSEY. — Voiture électrique. 268
BESEN-ESCHEMBURG (H.). — Sur la construction des alternateurs. 511
BIDDLE (W.). et KENNEDY (P.). — Eclairage électrique des trains. 318
BLECKRODE (L.).— Note sur les propriétés magnétiques de l'amiante. 278
BLONDEL (André). — Quelques propriétés générales des champs magnétiques tournants. 241, 308, 358
BLONDIN (J.). — Traité élémentaire d'électricité, par *J. Joubert* (*Bibliographie*). 46
— Le congrès de Bordeaux de l'Association française pour l'avancement des sciences, section de physique. 289
BLOT (René). — Voir *Margaine (G.)*.

Pages.

BOARDMAN. — Lampe à arc à courant alternatif pour projecteur. 542
BOCHET (A.). Rendement des usines électriques. Stations américaines. Distribution électrique de la ligne de Sceaux à Paris. . . 97
BOISTEL (E.). — Une expérience négligée d'Ampère, par *S.-P. Thompson*. 39
— L'invention de l'électro-aimant. 136
— Montages électramagnétiques. Observations de MM. Sheldon et Styne. 166
— Les dynamos. 211
— Manuel de magnétisme et d'électricité, par *G. Poloni* (*Bibliographie*). 523
BOLLINCKX (A.). — Sur la transmission électrique de la force motrice dans les usines. . 419
BORCHERS. — Fabrication du carbure de calcium. 229
BORDIER (H.). — Nouvelle méthode de mesure des capacités électriques basée sur la sensibilité de la peau. 84
BOWDEN (F.-W). — Un effet électromagnétique. 381
BOWEN (K.). — Coût du chauffage électrique des tramways 608
BOYNTON. — Chemin de fer bicycle à roue motrice 57
BRAND ET FRANKLYN. — Canalisation souterraine sectionnée à contact momentané. . . . 153
BREBNER. — Lentilles perfectionnées pour phares électriques. 543
BROCA (A.).— Sur l'élimination des forces électromotrices dans la mesure des résistances . 291
— Sur la polarité de la bobine de Rhumkorff. 298
— Etudes expérimentales sur l'étincelle disruptive. 181, 343, 407
BROWN. — Joint électrique pour rails. 398
BROWN. — Voir *Thompson Brown*.

Pages.

BRUHNES (B.). — La théorie électromagnétique de la lumière et l'absorption cristalline. 173, ... 352 529 566
BRUHNES (Louis). — Les installations électriques de Rotterdam. 489
BRUNSWICK (E.-J.). — Modification des caractéristiques avec l'entrefer des dynamos à courants continus 411
— Lampe à arc à traction magnétique « La Moderne », système Klostermann. 502
BURNETT ET DOANE. — Soufflage du verre pour lampes à incandescence. 124
BUSQUET (R.). — Les règles mnémoniques en électricité 550

C

CAHEN (H.). — Calcul des moteurs polyphasés 317
CARBONELLE. — Microphone 170
CARRICK. — Voir *Delabarre, Frazer et Carrick*.
CASANOVA (A.). — Procédé Malignani pour obtenir le vide dans les lampes à incandescence 602
CATES (O.-G.). — Base de trôlet. 392
CENTRAL HEATING C°. — Chauffage électrique des voitures des tramways. 447
CHRYTRAEUS (Ossian). — Réactions d'induit dans un alternateur simple et un alternateur polyphasé 77
CLABAUGH. — Voir *Smith et Clabaugh*. 395
CLAUDE (G.). — A propos de l'Exposition de 1900. 76
COFFIN. — Fours à arc. 19
— Soudeuse. 18
— Forge à souder les brides. 21
— Forge à souder les jantes. 20
— Forge à arc circulaire. 21
COOPER (W.-H.). — Les réactions électrochimiques dans les accumulateurs. 466
COX. — Pile thermo-électrique. 26
CREAGHEAD. — Potence à suspension élastique. 401
CROMPTON. — Porte-Balais. 213
CROSBY ET SHAW. — Lampe à arc à charbons convergents 538
CURRY. — Suspension à coupe circuit automatique 396

D E F

DARLEY. — Indicateur de vitesse pour tramways électriques. 448
DAWSON (Ph.). — Chauffage élec rique des voitures de tramway. 447
— Chasse-neige et balayeuse électrique. . . . 368
DELABARRE, FRAZER ET CARRICK. — Canalisation souterraine à conducteur supérieur. . . 155
DELVALEZ. — Quelques dispositifs pratiques d'expériences de cours. 294
DEVIE. — Projet de pont tournant électrique pour l'Exposition de 1900. 336
DEWAR. (James) et FLEMING (J.-A.). — Pouvoirs thermo-électriques des métaux et alliages entre les températures d'ébullition de l'eau et l'air liquéfié 187
DIATTO (A). — Traction électrique à conducteur souterrain. 602
DOANE. — Voir *Burnett et Doane*.
DOBBS (A.-E.). — Durée des isolateurs en porcelaine. 607
DOBROWOLSKI. — Sur l'électrolyse par courants alternatifs 269
DOLIVO-DOBROWOLSKI. — Sur la chute de potentiel dans les alternateurs. 225
DOLBEAR. — Revendication américaine de priorité pour la télégraphie sans fils. Travaux de John Trowbridge. 315
DOPORÉ (Léon). — Sur un curieux phénomène électrique dans le vide. 141
DORN. — Voir *Kohlrausch, Siemens, Slaby, Dubois, Dorn.*
DOUGLAS (James). — Traitement électrolytique des mattes cuivreuses argentifères et aurifères en Amérique. 559
DRAKE ET FARSHALL. — Accumulateurs. . . . 167
DRUDE (P.). — Méthode simple de démonstration de la réfraction électrique dans les liquides 566
DUBIAU. — Voir *Pellissier* (G.).
DUBOIS. — Voir *Kohlrausch, Siemens, Slaby Dubois, Dorn.*
DUHEM. — Sur l'interprétation théorique des expériences hertziennes 295
— Sur l'interprétation théorique des expériences hertziennes 494
DULANY (W.-T.) ET SHAW (O.-F.). — Canalisation souterraine et voie métallique 155
DUPONT. — Voir *Johannet et Dupont.*
EDISON SWAN. — Transformateur variable. . . 507
EDWARDS. — Protecteur. 450
ELBS. — Théorie de l'accumulateur. 229
ELSTER (J.) et GEITEL (H.). — Sur la relation

Pages.
entre le courant photoélectrique et l'azimuth et l'angle d'incidence de la lumière. 278
ENHOLM (O.-A.). — Canalisation souterraine, sectionnée à commutateur mécanique. . . . 152
EVERED ET HATSON. — Monture pour lampes à incandescence. 128
EVERSHED. — Voir *Goolden et Eversed.*
FELTEN ET GUILLEAUME. — Câbles flottants . . 268
— Câbles à faible capacité. 313
FERRANTI. — Coupe-circuit. 267
FESSENDEN (R.-A.). — Sur la relation entre l'induction magnétique maximum et la rémanence 562
FIELD (St.-D.) — Canalisation souterraine pour tramways 149
FISH. — Compteur 505
FITZGERALD. — Notes sur les accumulateurs secs 605
FLEMING (J.-A.). — Voir *James et Fleming* (J.-A.).
FOELSING. — Tannage électrique des peaux. 229
FORBES (George). — Représentation mécanique du fonctionnement des câbles sous-marins. 464
FORD. — Réflecteur pour lampes à incandescence 124
FRANKLYN. — Voir *Brand et Franklyn.*
FRASER. — Voir *Muirhead et Fraser.*
FRAZER. — Voir *Delabarre, Frazer et Carrick*
FROELICH (O.-E.). — Indicateur de l'isolement des canalisations en service. 176
FROLICH. — Fabrication du carbure de calcium. 229

G H

GAUTIER. — Électrolyseur 462
GEITEL (H.). — Voir *Elster (J.) et Geitel (H).*
GENERAL ELECTRIC C°. — Contrôleur pour 6 moteurs 52
— Tramway à trôlet souterrain 508
GIRARD ET STREET. — Voir *Reyval* (*J.*).
GOOLDEN ET EVERSHED. — Ohmmètre 169
GOURÉE DE VILLEMONTÉE (G.). — Sur la détermination des constantes électriques de l'eau. 473
GOUY. — Sur les attractions et répulsions apparentes des conducteurs électrisés dans un diélectrique fluide 82
— Note sur quelques amalgames liquides saturés. 181
GRAVIER. — Dynamo bipolaire 211
GREEF (W.). — Sur la résistance intérieure des piles et des voltamètres 514
Pages.
GREEN. — Scellement de lampes à incandescence. 129
GUILBERT (F.). — Leçons élémentaires d'électricité et de magnétisme, par *S.-P. Thompson* (*Bibliog.*) 571
— Étude analytique et graphique des courants alternatifs, par *Bedell et Crehore* (*Bibliog.*). 333
GUILLEAUME. — Voir *Felten et Guillaume.*
GUTHRIE. — Diaphragmes pour électrolyseurs. 27
HALLWACHS (W.). — Sur un électromètre apériodique 86
HALSKE. — Voir *Siemens et Halske.*
HAMMACHER. — Accumulateurs 172
HANAPPE (S.). — Étude du champ magnétique d'un moteur électrique à courants diphasés, type Brown, de 5 chevaux . . . 5, 59, 114 159
— Étude expérimentale d'une petite dynamo de 20 à 35 wolts (2 à 3,5 kgm.) marchant en génératrice et en moteur 433
HANSCOM. — Le recuit électrique des cuirasses de navires 129
HARRISSON. — Galvanomètre enregistreur . . 506
HARTNELL. — Rhéostat automatique 73
HASH. — Voir *Money.*
HEILMANN (J.-J.). — Suspension et accouplement élastiques 50
HENNEQUIN. — Voir *Suisse et Hennequin.*
HENRY, — Méthode pour la localisation des fautes dans les chemins de fer électriques . . 413
HERROUN (E.-F.). — Sur l'emploi d'un voltamètre à iode pour la mesure des faibles courants. 184
HESS (A.). — La question de l'hystérésis diélectrique. 205
— Annuaire de l'électrochimie par *Nernst et Borchers* (*Bibliog.*). 382
— Nouveaux analysateurs harmoniques 385
— Les systèmes téléphoniques de l'Europe continentale, par *A.-R. Bennett* (*Bibliog.*). 427
HEYDWEILLER (A.). — Voir *Kohlrausch (F.) et Heydweiller (A.).*
HEYMAN. — Lampe à arc différentielle 535
HIGHAM. — Lampe à arc 542
HOERDE. — Conduite souterraine pour tramway électrique. 601
HOLDEN (F.) — Quelques expériences sur l'hystérésis magnétique 562
HOLT (H.-P.). — Canalisation souterraine électromagnétique pour tramway 149
HOLTZ (W.). — Sur l'histoire et la théorie des machines à influence à double rotation . . . 423

Pages.
HOMAN (T.-H.). — Protecteur 450
HOPKINSON (J.). — Action des courants électriques internes sur l'aimantation du fer. 229, 281
HOUSTON (E.-J.) et KENNELLY (A.-S.). — Contribution à l'étude de la désaimantation . . . 36
— Loi possible du magnétisme dans le fer et l'acier 38
— Mesure de l'éclairement 172
— Des causes qui déterminent les différences de phases dans les circuits à courants alternatifs 270
— Voir *Thomson-Houston.*
HUGHES (R). — Scellement des culots de lampes à incandescence 125
HUNT (A.-M.) ET MEREDITH (Wynn.). — Indicateur et tachymètre électrique pour machines à vapeur 131
HUNTER. — Locomobile électrique 51
— Plaque tournante à manœuvre électrique. . 451
HURTER. — Sur le rendement des appareils électrolytiques. 315

I J K L

IHLE. — Action catalytique de l'acide azoteux. 229
— Sur l'action de l'acide azoteux dans la pile Grove 567
IRISH. — Montages électramagnétiques. . . . 27
JACK. — Monture de lampes à incandescence. 127
JACQUES. — Microphone vibratoire à grenaille. 48
JANET (P.). — Électrochimie. Les lois générales de l'électrolyse 481
— Transport des ions. 577
JENKINS (C.-F.). — Réglage à distance des électromoteurs. . . . . , , ... 80
JOHANNET ET DUPONT. — Boggie à adhérence totale et à un seul moteur. 146
JOHNSON. — Voir *Lundell et Johnson.*
JORDIS. — Nouveau procédé d'analyse par l'électrolyse 228
JUNIUS. — Sur le rendement des piles Junius . 297
KELLNER. — Diaphragmes. 26
— Électrodes . . . . , ... 75
KENNEDY (P.). — Voir *Bidale (W). et Kennedy (P.).*
KENNELLY (A.-E.). — Voir *Houston (E.-J.) et Kennelly (A. E.).*
KESTER. — Lampe à arc. 536
KETTELER. — Les équations de la théorie électromagnétique de la lumière déduites des faits expérimentaux de l'optique cristalline. 519, 571
KIMBALL (A.-S.). — Expériences sur la capacité propre des bobines 418
KINGDON. — Mode de synchronisation des alternateurs en parallèle 214
KLOSTERMANN. — Voir *Brunswick (E.-J.).*
KOHLRAUSCH (F.) et HEYDWEILLER (A.). — Variations de la résistance des solutions sous l'influence de courants constants. 132
KOHLRAUSCH, SIEMENS, SLABY, DUBOIS, DORN. Perturbations causées aux instruments de mesures électriques par le voisinage des tramways électriques. 314
KOWALSKI. — Accumulateur. 229
KNOWLES. — Lanterne pour lampes à incandescence 128
— Commutateur. 505
LEONHARDT. — Protecteur 451
LEMP. — Détrempeur 17
LEWIS (Isaac Newton). — Éclairage électrique des trains 317
LEWIS (W.-F.). — Block-système pour tramways électriques 449
LIETZNAU. — Contribution à l'étude de la polarisation du mercure 515
LIMB. — Mesure directe des forces électromotrices en unités C. G. S. 181
— Sur la force électromotrice des étalons Clark, Gouy et Daniell 332
LINCOLN (F.-H.). — Voir *Nichols et Lincoln.*
LODGE. — Unités magnétiques 376
LUNDELL ET JOHNSON. — Truck à un seul moteur. 145

M N O

MAC INTIRE. — Lampe à arc 536
MAC TIGHE. — Suspension 395
MALIGNANI. — Voir *Casanova.*
MARÉCHAL. — Les tramways électriques à Paris. 608
MARGAINE (G.). — Étude critique des accumulateurs au plomb. — Description de l'accumulateur à navette de M. René Blot. 290, 432
MARSHALL. — Voir *Drake et Marshall.*
MAURAIN. — Variations du diapason dans un champ magnétique. 452
MAXIM (Hiram). — Trains à grande vitesse. . 57
— Une unité de son. 573
MAZOTTO. — Sur la constante diélectrique de quelques substances et en particulier du verre. 33

Pages.

MÉLOTTE (F.). — Sur une particularité de réglage des dynamos actionnées par machine à vapeur à détente fixe. 219
MEREDITH (Wynn). — Voir *Hunt* (*A. M.*) *et Meredith* (*Wynn*).
MINCHIN. — Mesure de l'éclat stellaire 573
MONEY ET HASH. — Lampe double différentielle 539
MORDEY. — Indicateur pour courants alternatifs. 172
MORISOT. — Sur une pile constante de grande force électromotrice. 297
MUIRHEAD. — Siphon-recorder 463
MUIRHEAD ET FRASER. — Télégraphe sous-marin 171
MYERS (J.-S.). — Influence des gaz dissous sur le poids d'argent déposé dans le voltamètre 235
— Loi de Faraday pour les courants fournis par les machines électrostatiques 236
NADLER. — Ampèremètre. 171
NEUMANN. — Monture de lampe à incandescence 126
NICHOLS (H.-B.) et LINCOLN. — Isolateur de section. 397
NIKOLAIEVE (Wladimir de). — Méthode pour déterminer le coefficient de self-induction d'une bobine. 475
ŒCHELHAENSER (VON) ET BERNSTEIN. — Éclat intrinsèque des lampes. 608
OHIO BRASS C°. — Suspension 395
OSTWALD. — Sur le lieu de la force électromotrice. 227

P R

PARKER (H.-C.). — Les limites d'exactitude et le degré de précision actuels de la mesure de la résistance électrique. 284
PARKINSON. — Forge à souder les roues de wagons 21
PELLISSIER (G.). — Chemins de fer et tramways électriques. 49, 145, 391 446
— Le chemin de fer métropolitain de Chicago. 254
— L'électricité à Bordeaux. 337
— L'électricité à Bordeaux. Chaudières à émulseurs de vapeur de Dubiau. 588
— Les applications mécaniques de l'énergie électrique par J. Laffargue (*Bibliog*.) 92
— Traité d'électricité, théorie et applications générales, par F. Rodary (*Bibliog*.). 139
— Recettes et procédés utiles, par G. Tissandier (*Bibliog*.). 140
PERRY. — Voir *Siemens et Perry*. . . . .
PETERSEN (H.-A.-T.). — Manœuvre automatique des aiguilles. 154
— Canalisation souterraine à compartiments séparés. 154
PEUKERT (W.). — Sur l'électrolyse par courants alternatifs. 133
PFOUT. — Potence articulée. 401
PIGG (J.). — Marche en parallèle de machines compound. 79
PILTSCHIKOFF (N.) — Nouvelles photographies de l'éclair 420
POLLAK. — Charge des accumulateurs à l'aide du courant alternatif 228
PRINGSHEIM. — Conductibilité électrique des gaz chauds 518
PROCTOR. — Monture de lampe à incandescence 126
PYLE (G.). — Fanal électrique de locomotives. 314
RAM. — Scellement de lampes à incandescence. 126
RATHENAU. — Télégraphie navale. 527
REYVAL (J.). — La traction électrique sur la ligne du chemin de fer de Baltimore and Ohio. 299
— La transformation du carbone en graphite. Les fours électriques Girard et Street 454
RHODES (W-G.). — Une théorie des moteurs synchrones 181
— Lignes de forces. 425
RICHARD (G.). La soudure électrique 14
— Les lampes à incandescence 124
— Les lampes à arc. 535
RIES. — Monture à rhéostat pour lampe à incandescence. 127
RIGHI (A.). — Production de longues étincelles à la surface de l'eau. 21
— Sur la double réfraction des rayons électriques 277
RINECKER (Francis.). — Locomotive électrique à crémaillère 56
RŒBLING (John A.). — Fil à trôlet. 397
ROTHERT (Alexandre.). — Contribution à une théorie des moteurs synchrones. 273
RUDHOLZNER. — Répartiteur d'électro-diapasons. 464
RUSSELL (A.). — Méthodes graphiques pour la détermination des carrés moyens 276
VON RYSSELBERGHE. — Le système hydro-électrique. 528

S

Pages.

SADOWSKI (A.). — Sur quelques expériences avec des courants alternatifs. 380
SAGNAC (G.). — Sur la résistance au courant variable 67
SCHAFFERS (V.). — Sur la théorie de la machine de Wimshurst 421
SCHAUFFEL. — Lampe à arc pour projecteur. 542
SCHOOP (P.). — Distribution par accumulateurs pour tramways. 159
SCHWEIZER. — Lampe à arc. 538
SÉGUY (Gaston). — Sur un phénomène de phosphorescence obtenu dans des tubes contenant de l'azote raréfié, après le passage de la décharge électrique. 331
SHAW (O.-F.) — Voir *Dulany (W.-T.) et Shaw (O.-F.)*.
— Voir *Crosby et Shaw*.
SHELDON. — Montages électramagnétiques . . 167
SIEMENS (CH.-W.). — Canalisation souterraine pour tramways. 149
SIEMENS BROTHERS. — Station mixte pour éclairage et tramvays, à compensateur de charge 158
— Trôlet à glissement. 393
— Trôlet à glissement à double contact. . . . 393
SIEMENS ET HALSKE. — Ressorts pour conducteurs. 26
— Coupe-circuit 266
— Coupe-circuit automatique 505
SIEMENS ET PERRY. — Pied de poteau télégraphique 315
SIEMENS. — Voir *Kohlrausch, Siemens, Slaby, Dubois, Dorn*.
SIMON ET BEISSBARTH. — Canalisation souterraine à chariot moteur. 150
SKINNER (S.). — La pile étain-chlorure chromique 233
SLABY. — Voir *Kohlrausch, Siemens, Slaby, Dubois, Dorn*.
SMITH. — Lampe à arc. 536
SMITH (Holroyd). — Modes de captation de l'énergie pour les chemins de fer et tramways électriques. 221
SMITH ET CLABAUGH. — Suspension 395
SOLVAY. — Séparation des alcalis caustiques des liqueurs obtenues par l'électrolyse des sels alcalins. 461
SPERRY (Elmer H.). — Frein électrique . . . 448

Pages.

STEINMETZ. — Système monocyclique. — Exposé élémentaire. 556
— Système polycyclique. 217
STEVENS. — Lampe à arc. 536
STINE. — Montages électramagnétiques. . . . 167
STREET. — Voir *Girard et Street*.
SUISSE ET HENNEQUIN. — Lampe à arc. 536
SWAN. — Voir *Edison Swan*.
SWINTON. — Allumeur électrique 26
SWYNGEDAUW (R.). — Sur les potentiels explosifs statique et dynamique 326, 469

T

TAYLOR. — Voir *Barr, Beeton et Taylor*.
TCHIKOLEFF (V.). — Le rôle des appareils enregistreurs dans l'électro-technique. . 199, 261
TELGE. — Compteur d'énergie électrique. . . 192
THOMPSON (S.-P.). — Voir *Boistel (S.)*.
THOMSON. — Balais en charbon pour machines à bas potentiel. 413
THOMPSON (Elihu). — Porte-balais. 313
— Station d'arrêt et de démarrage à récupération 157
— Forge à soudure. 16
THOMSON-HOUSTON. Contrôleur série parallèle. 147
THOMSON-HOUSTON. — Truk à un seul moteur 146
THOMPSON BROWN. — Suspensions. 395
— Joint électrique pour rails. 397
THURSTON. — L'homme considéré comme une machine par un électricien. 575
TILLO (Alexis de). — Loi de distribution du magnétisme moyen à la surface du globe. . . 134
TONSLEY (E.-M.). — Roue de trôlet. 391
TROWBRIDGE (John). — Voir *Dolbear*.
TURNBULL. — Réflecteur pour lampes à incandescence. 124
TYER. — Pédale. 266

U V W Z

VAUTIN. — Préparation électrolytique des alliages d'étain et des métaux alcalins. 27
VOE (W.-R. de). — Canalisation souterraine à compartiments séparés 154
VOGEL (Fr.). — Calcul de la section la plus économique des câbles 465
WAITE. — Électrolyseur 461

Pages.
WALLON. — Lampe à deux paires de charbons ou lampe double 539
WATSON. — Voir *Evered et Watson*.
WEISS (Pierre). — Recherches sur l'aimantation non isotrope de la magnétite non cristallisée 82
WEST (Jul. H.). — La télégraphie quadruple en Amérique. 369
WHITE (W.-F.). Consommation de charbons dans les stations centrales 560
WIEDEMANN (E.). — Actions chimiques et optiques des rayons cathodiques 228
— Sur un nouveau genre de rayons accompagnant les étincelles et décharges électriques. 569
WILKE (A.). — Dispositif pour mesurer la différence de phase mécanique de deux machines. 367
WILSON (W.-E.).— Effet de la pression du gaz ambiant sur la température du cratère de l'arc électrique. 132
WIMSHURST (James). — Observations sur la théorie et l'histoire des machines à influence à rotations opposées. 425
WITZ (A.). — Éclairage par luminescence . . 471
WOOD. — Potence à suspension élastique . . 401
WRIGT (J.-J). — Transmission électrique de l'heure à Toronto (Canada). 239
— La transmission électrique de l'heure à Toronto 365
ZENGER. — L'astronomie moderne basée sur les lois électrodynamiques. 394
— La théorie électrodynamique du système du monde. 547

L'Éditeur-Gérant : GEORGES CARRÉ.

Paris. — Imprimerie de la Cour d'appel, L. MARETHEUX, directeur, 1, rue Cassette.

